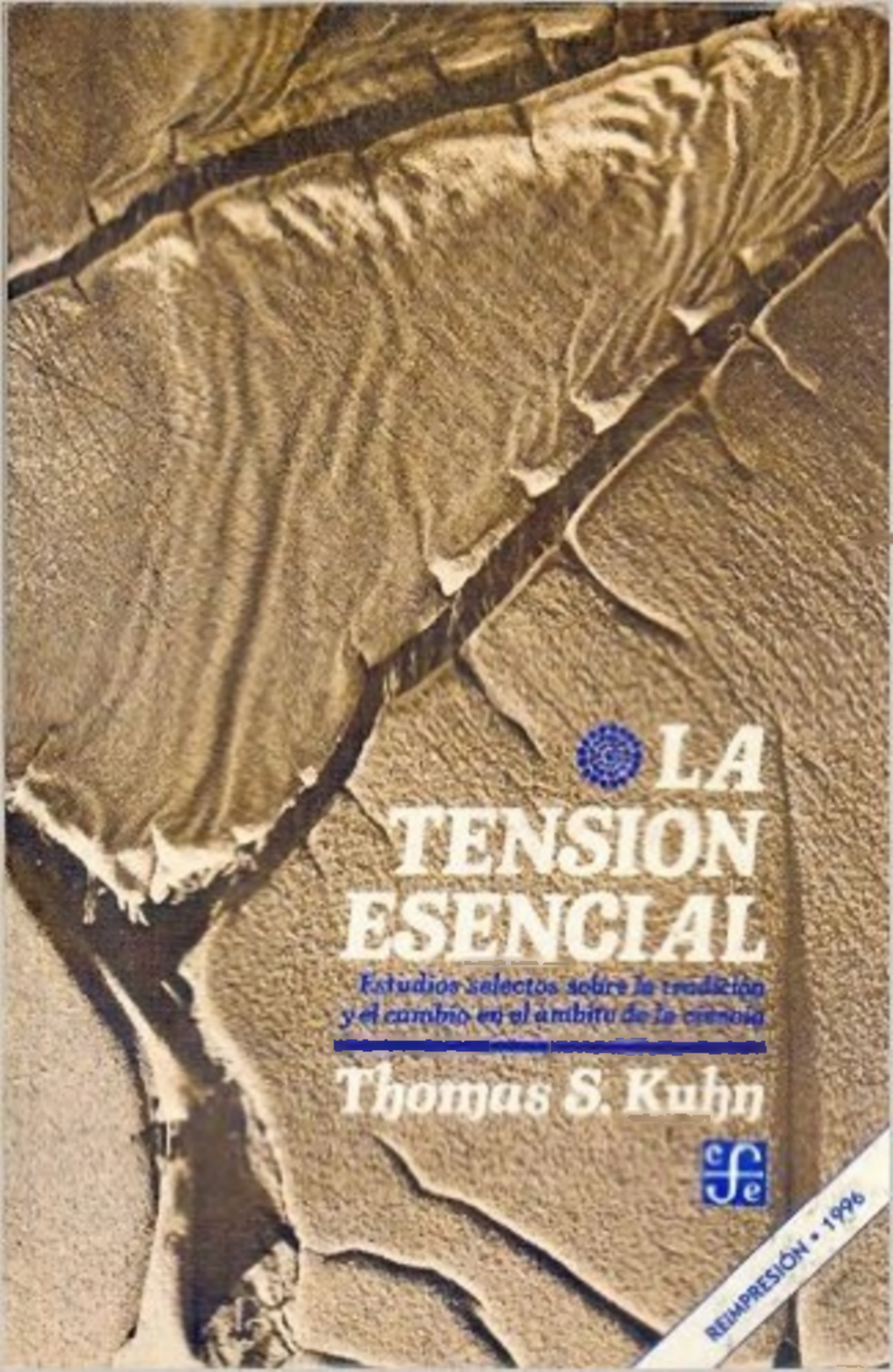

LA
TENSION
ESENCIAL
Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia
Thomas S. Kuhn
fce
REIMPRESIÓN • 1996

Traducción de

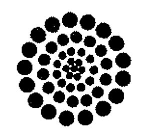
Roberto Helier

THOMAS S. KUHN

LA TENSIÓN ESENCIAL

Estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia

CONACYT





FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
MÉXICO-ARGENTINA-BRASIL-COLOMBIA-CHILE-ESPAÑA
ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA-PERÚ-VENEZUELA

Primera edición en inglés, 1977
Primera edición en español, 1982
Primera reimpresión en España, 1983
Segunda reimpresión en España, 1993

Este libro se publica con el patrocinio del
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México

Título original
The Essential Tension. Selected Studies
in Scientific Tradition and Change

Publicado por The University of Chicago Press
ISBN 0-226-45805-9

Av. Picacho Ajusco, 227. 14200 México D. F.
FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, SUCURSAL PARA ESPAÑA
Vía de los Poblados (Edif. Indubuilding-Goico, 4.°-15), 28033 Madrid

Depósito legal: M. 7263-1993
I.S.B.N.: 84-375-0232-2

Impreso en España

A
K. M. K.,

que sigue siendo mi experto predilecto
en escatología

PREFACIO

AUNQUE ya llevaba varios años jugando con la idea de publicar una antología de artículos, tal vez nunca hubiera realizado el proyecto si Suhrkamp Verlag, de Francfort, no hubiera pedido mi autorización para publicar en alemán un volumen compuesto con algunos de mis ensayos.

Tuve algunas reservas, tanto hacia la lista de artículos que me presentó inicialmente, como hacia el riesgo de autorizar traducciones sobre las cuales yo no tendría control alguno. Pero mis dudas se desvanecieron por completo cuando recibí la visita de un agradable profesor alemán, que desde entonces es mi amigo, y quien estuvo de acuerdo en responsabilizarse de la edición de un volumen en alemán, en cuya planeación yo intervendría también. Se trata de Lorenz Krüger, profesor de filosofía de la Universidad de Bielefeld, con quien he trabajado íntima y armoniosamente, seleccionando y preparando el contenido del volumen. Él fue, además, quien me persuadió para que elaborara un prefacio especial, en donde indicara la relación que hay entre los ensayos escogidos y lo más conocido de mi trabajo, ya fuese como introducción a éste o como exposición y corrección del mismo.

Tal prefacio, me insistió, serviría para que los lectores entendieran mejor algunos aspectos centrales, pero en apariencia oscuros, de mis puntos de vista sobre el desarrollo de la ciencia. Como el presente libro es casi una versión en el original inglés del volumen publicado en alemán bajo mi supervisión,[1] tengo aquí otro motivo para estarle especialmente agradecido.

Fue inevitable que el prefacio sugerido por Krüger resultara autobiográfico y que, mientras lo estaba elaborando, tuviese yo la sensación de que toda mi vida intelectual estaba desfilando ante mis ojos. Sin embargo, los ensayos que contiene este volumen no reflejan, en

[1] Die *Entstehung des Neuen: Studien zur Struktur der Wissenschaftsgestchichte* (Francfort, 1977). En este volumen hay un prólogo del profesor Krüger. En la transición a la edición en inglés, eliminé y remplacé algunas partes que estaban dirigidas al público alemán. Además, corregí y pulí los ensayos inéditos "Las relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia" y "Objetividad, juicio de valor y elección de teoría". El primero tiene ahora una conclusión nueva, a la cual quizá no habría llegado sin haber leído el libro citado en la nota 7.

ninguno de sus aspectos centrales, la incursión autobiográfica que mi retorno a esos trabajos propició. *La estructura de las revoluciones científicas* no apareció hasta fines de 1962,* pero la convicción de que hacía falta escribir un libro había nacido en mi quince años antes, mientras era estudiante de física y trabajaba en mi tesis doctoral. Poco después, abandoné la ciencia por la historia de la ciencia, y mis investigaciones publicadas en esa época fueron ciento por ciento históricas y, en general, de forma narrativa. En un principio, tenía planeado reproducir aquí algunos de esos primeros ensayos, con la esperanza de introducir el ingrediente autobiográfico que faltaba; así pretendía señalar el papel decisivo que el trabajo de historiador había tenido en el desarrollo de mis ideas. Pero al experimentar con diferentes índices de contenido, poco a poco me fui convenciendo de que las narraciones históricas no servirían para expresar los puntos que pensaba y que hasta podrían llegar a resultar distorsionadoras. Aunque la experiencia como historiador pueda enseñar filosofía por medio del ejemplo, las lecciones no estarán presentes en el texto de historia. Relatando el episodio que me condujo al trabajo histórico, quizá pueda dar una idea de los problemas que hay de por medio y a la vez una base a partir de la cual considerar los ensayos que siguen.

Una narración histórica consiste principalmente en hechos acerca del pasado, la mayoría de ellos aparentemente indisputables. De ahí que muchos lectores supongan que la tarea primordial del historiador es la de examinar textos, extraer de ellos los hechos pertinentes, y relatarlos con gracia literaria, más o menos en orden cronológico. En mis años de físico, ésa fue mi idea de la disciplina histórica, a la cual no tomaba muy en serio. Cuando cambié de manera de pensar —y poco después de quehacer—, en las narraciones históricas que produje, por su naturaleza, debo de haber fomentado ese malentendido. En la historia, más que en cualquier otra de las disciplinas que conozco, el producto acabado de la investigación encubre la naturaleza del trabajo que lo produjo.

Mis ideas comenzaron a aclararse en 1947, cuando se me pidió que interrumpiera por algún tiempo el proyecto de física que me hallaba realizando en aquella época, para preparar una serie de conferencias sobre los orígenes de la mecánica del siglo XVII. Para tal fin, debía descubrir ante todo lo que sabían del asunto los antecesores de Galileo

* *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de Cultura Económica. 1ª ed., 1971; 3ª, reimpresión, 1978.

y Newton. Mis investigaciones preliminares me adentraron de inmediato en los análisis del movimiento contenidos en la *Física* de Aristóteles, así como en trabajos posteriores basados en ésta. Como la mayoría de los primeros historiadores de la ciencia, llegué a estos textos sabiendo ya lo que eran la física y la mecánica newtonianas. Y, al igual que ellos, les pregunté a mis textos qué tanto se sabía de mecánica dentro de la tradición aristotélica y cuánto había quedado para que lo descubrieran los científicos del siglo XVII. Estando en posesión de un vocabulario newtoniano, mis preguntas exigían respuestas en los mismos términos. Entonces yo creía que las respuestas eran muy claras. Aun en el nivel aparentemente descriptivo, los aristotélicos habían sabido poco de mecánica. Y mucho de lo que habían dicho era sencillamente erróneo. Tal tradición no podía haber servido de fundamento para el trabajo de Galileo y sus contemporáneos. Éstos debieron de haberla rechazado y comenzado de nuevo el estudio de la mecánica.

Las generalizaciones de ese tipo eran cosa corriente y al parecer ineludible. Al mismo tiempo, constituían un enigma. Al tratar otros temas aparte de la física, Aristóteles había sido un observador agudo y realista. En campos como la biología o el comportamiento político, sus interpretaciones de los fenómenos habían sido tan certeras como profundas. ¿Cómo es que tan notable talento había fracasado al aplicarse al movimiento? ¿Cómo es que había sido capaz de decir sobre el movimiento cosas al parecer tan absurdas? Y, ante todo, ¿por qué sus concepciones habían sido tomadas tan en serio, tanto tiempo y por tantos de sus sucesores? Cuanto más leía, más intrigado me sentía. Claro está que Aristóteles pudo haberse equivocado —no me cabía duda de que tal había sido el caso—, ¿pero era concebible que sus errores hubiesen sido tan flagrantes?

Un memorable —y tórrido— día de verano se desvanecieron súbitamente todas mis incertidumbres. De buenas a primeras percibí como en embrión otra manera de leer los textos con los que había estado luchando. Por primera vez le concedí la importancia debida al hecho de que el tema de Aristóteles era el cambio de cualidad en general, lo mismo al observar la caída de una piedra que el crecimiento de un niño hasta llegar a la edad adulta. En su física, el objeto que habría de convertirse en la mecánica era, a lo más, un caso especial no aislable todavía. Muy lógico, pues, fue mi reconocimiento de que los ingredientes permanentes del universo aristotélico, sus elementos ontológicos primarios e indestructibles, no eran los cuerpos materiales

sino más bien las cualidades que, impuestas sobre una porción de la materia neutral y omnipresente, constituían un cuerpo material o substancia. No obstante, la posición en sí era una cualidad en la física de Aristóteles, y un cuerpo que cambiaba de posición permanecería, por consiguiente, siendo el mismo cuerpo sólo en el problemático sentido en que el niño es también el individuo en que se convierte más tarde. En un universo en donde las cualidades eran lo primario, el movimiento tenía que ser necesariamente no un estado sino un cambio de estado.

Aunque tan incompletos como pobremente expresados, esos aspectos de mi nueva manera de entender la empresa aristotélica deben indicar lo que quiero decir con el descubrimiento de una nueva manera de leer un conjunto de textos. Lograda esta nueva forma, las forzadas metáforas se convirtieron muchas veces en informes naturalistas al tiempo que se desvanecía gran parte de la aparente absurdidad. A resultas de esto, no me convertí en un físico aristotélico, pero hasta cierto punto aprendía a pensar como tal. De ahí en adelante, tuve pocos problemas para entender por qué Aristóteles había dicho tal o cual cosa acerca del movimiento y también la razón de que sus afirmaciones hubiesen sido tomadas tan en serio. Cierto es que seguí encontrando tropiezos en su física, pero ahora ya no me parecían ingenuidades y pocos de ellos podrían haber sido caracterizados como meros errores.

Desde ese acontecimiento decisivo ocurrido en el verano de 1947, la búsqueda de lecturas más eficaces ha sido ocupación central en mis investigaciones históricas —y dicha búsqueda ha sido eliminada sistemáticamente de mis escritos—. Las lecciones que aprendí mientras leía a Aristóteles las he aplicado también al leer a personajes como Boyle y Newton, Lavoisier y Dalton, o Boltzmann y Planck. En pocas palabras, esas lecciones son dos. La primera consiste en que hay muchas maneras de leer un texto y que las más accesibles al investigador moderno suelen ser impropias al aplicarlas al pasado. La segunda dice que la plasticidad de los textos no coloca en el mismo plano todas las formas de leer, pues algunas de ellas —uno quisiera que sólo una— poseen una plausibilidad y coherencia que falta en otras. Cuando trato de comunicarles estas lecciones a los estudiantes, les digo esta máxima: al leer las obras de un pensador importante, busca primero las absurdidades aparentes del texto y luego pregúntate cómo es que pudo haberlas escrito una persona inteligente. Cuando tengas la respuesta, prosigo, cuando esos pasajes hayan adquirido sentido,

encontrarás que los pasajes primordiales, esos que ya creías haber entendido, han cambiado de significado.[2]

Si este volumen estuviera dirigido ante todo a los historiadores, no tendría ninguna razón este pasaje autobiográfico. Lo que yo, como físico, descubrí por mí mismo, la mayoría de los historiadores lo aprenden por el ejemplo en el curso de su formación profesional. Conscientemente o no, todos ellos practican el método hermenéutico. En mi caso, sin embargo, el descubrimiento de la hermenéutica hizo algo más que infundirle sentido a la historia. Su efecto más decisivo e inmediato fue el ejercido sobre mi concepción de la ciencia. Por eso he narrado aquí mi reencuentro con Aristóteles.

Hombres como Galileo y Descartes, que sentaron los cimientos de la mecánica del siglo XVII, crecieron dentro de la tradición científica aristotélica e hicieron contribuciones esenciales a ésta. Factor clave de sus aportaciones fue que crearon maneras de leer los textos que en un principio me confundieron; y muchas veces ellos mismos fueron víctimas de tales malentendidos. Descartes, por ejemplo, al principio de *Le monde*, ridiculiza a Aristóteles citando en latín su definición del movimiento, negándose a traducirla bajo el supuesto de que en francés la definición carece igualmente de sentido, y luego probando su afirmación al hacer la dicha traducción. La definición de Aristóteles, sin embargo, había tenido sentido durante siglos, y quizá alguna vez hasta para el propio Descartes. Por consiguiente, lo que pareció revelarme mi lectura de Aristóteles fue una especie de cambio generalizado de la forma en que los hombres concebían la naturaleza y le aplicaban un lenguaje, una concepción que no podría describirse propiamente como constituida por adiciones al conocimiento o por la mera corrección de los errores uno por uno. Esa clase de cambio la describiría poco tiempo después Herbert Butterfield diciendo que era "como pensar con una cabeza diferente",[3] e impulsado por esta suerte de revelación comencé a leer libros sobre la psicología de la Gestalt y campos afines. Mientras descubría la historia, había descubierto también mi primera revolución científica, y mi búsqueda posterior de lecturas más eficaces ha sido a menudo la búsqueda de otros acontecimientos de la

[2] Más sobre este tema se encuentra en T.S.Kuhn, "Notes on Lakatos", *Boston Studies in Philosophy of Science*, 8 (1971): 137-146.

[3] Herbert Butterfield, *Origins of Modern Science, 1300-1800* (Londres, 1949), p. 1. Como mi propia idea sobre la transformación de la ciencia moderna en sus inicios, en la de Butterfield influyeron enormemente los escritos de Alexandre Koyré, especialmente sus *Études galiléennes* (París, 1939).

misma clase. Son los que pueden reconocerse y entenderse únicamente recuperando las maneras antiguas de leer textos antiguos.

Elegí para iniciar este libro la conferencia "Las relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia" porque su tema principal es el de la naturaleza y la pertinencia de la filosofía para el quehacer histórico. Di esta conferencia en la primavera de 1968 y nunca antes la había publicado, pues tenía el proyecto de ampliar sus conclusiones sobre lo que saldrían ganando los filósofos si tomaran más en serio la historia. En este libro, hay otros artículos que suplen esta deficiencia y la propia conferencia puede leerse como un intento por profundizar en los problemas planteados en este prefacio. Los lectores exigentes pueden considerarla anticuada, pues en cierto sentido así es. En los nueve años transcurridos desde que la di, son muchos los filósofos de la ciencia que han admitido la pertinencia de la historia con respecto a sus quehaceres especiales. Pero, aunque es bienvenido el interés por la historia que de ahí ha resultado, sigue faltando todavía lo que yo considero el punto filosófico primordial: el reajuste conceptual fundamental que necesita el historiador para recuperar el pasado o, a la inversa, lo que necesita el pasado para revelarse ante el presente.

Tres de los cinco ensayos de la Primera Parte no ameritan más que un comentario de pasada. El artículo "Los conceptos de causa en el desarrollo de la física" es un corolario de mi trabajo con las obras de Aristóteles. Si gracias a ese trabajo yo no hubiera aprendido la integridad de su análisis cuatripartito de las causas, tal vez nunca habría percibido que la forma en que durante el siglo XVII se rechazaron las causas formales, a favor de las causas mecánicas o eficientes, tuvo como consecuencia la restricción de los ulteriores análisis de la explicación científica. El cuarto ensayo, dedicado a la conservación de la energía, es el único de la Primera Parte que escribí antes de mi libro sobre las revoluciones científicas; y los pocos comentarios que sobre él hago están intercalados entre los relativos a otros artículos del mismo periodo. Del sexto artículo, "Las relaciones entre la historia y la historia de la ciencia", puede decirse que es un complemento del trabajo con que se inicia la Primera Parte.

Varios historiadores lo han juzgado incorrecto, y no cabe duda que es tan personal como polémico. Pero desde su publicación he descubierto que las frustraciones que allí expreso las comparten casi universalmente los consagrados al desarrollo de las ideas científicas.

Aunque escritos con otros fines, los ensayos "La historia de la ciencia" y "La tradición matemática y la tradición experimental"

tienen una relación más directa con los temas que expuse en *La estructura de las revoluciones científicas*. Las páginas iniciales del primer ensayo, por ejemplo, pueden ayudar a explicar por qué el enfoque histórico en que se basa este libro no empezó a ser aplicado a las ciencias hasta después del primer tercio de este siglo. Al mismo tiempo, estos ensayos pueden sugerir una reveladora particularidad: los primeros modelos del tipo de historia que ha influido tanto en mí y en mis colegas *históricos* es un producto de una tradición europea poskantiana, que mis colegas *filósofos* y yo seguimos encontrando oscura. En mi caso, por ejemplo, incluso el término de "hermenéutica", que acabo de emplear hace un momento, no formaba parte de mi vocabulario hasta hace apenas unos cinco años. Y sospecho cada vez más que todos los que crean que la historia pueda tener una profunda importancia filosófica tendrán que aprender a salvar el abismo que hay entre la tradición filosófica en lengua inglesa y su correspondiente de la Europa continental.

En su sección penúltima, el ensayo "La historia de la ciencia" está encaminado a responder a un tipo de crítica que persistentemente se le hace a mi libro. Tanto los historiadores en general como los historiadores de la ciencia se quejan repetidas veces de que mi relación del desarrollo científico se basa exclusivamente en factores internos de las propias ciencias; que no logro inscribir las comunidades científicas en la sociedad en que se sustentan y de la cual son extraídos sus miembros; y que, por consiguiente, doy la impresión de creer que el desarrollo científico es inmune a las influencias de los medios social, económico, religioso y filosófico en que se desarrolla. Claro está que mi libro tiene poco que decir sobre tales influencias externas, pero ello no debe interpretarse como negación de que éstas existan. Por el contrario, debe entenderse como un intento de explicar por qué la evolución de las ciencias más desarrolladas ha ocurrido con relativa independencia del medio social, en grado mayor que la evolución de disciplinas como la ingeniería, la medicina, las leyes y las artes —con excepción, quizá, de la música—. Además, leído de esa manera, el libro puede considerarse el primer paso para quienes tratan de adentrarse en el estudio de las formas que adoptan tales influencias externas, así como los cauces por los que discurren.

Pruebas de la existencia de tales influencias se encuentran en otros de los artículos contenidos en este libro, especialmente en "La conservación de la energía" y "La tradición matemática y la tradición experimental". Este último tiene que ver de otra manera con mi libro

sobre las revoluciones científicas. Subraya la existencia de un error significativo en mis concepciones anteriores, al tiempo que sugiere las formas de eliminarlo. A todo lo largo de *La estructura de las revoluciones científicas,* identifico y caracterizo las comunidades científicas por la materia que manejan, dando a entender así, por ejemplo, que términos como los de "óptica", "electricidad" y "calor" pueden servir para designar a determinadas comunidades científicas precisamente porque designan también las materias de investigación de cada una de ellas. Ya señalado, es obvio el anacronismo. Yo insistiría ahora en que las comunidades científicas deben descubrirse examinando sus pautas de educación y comunicación, antes de indagar la problemática particular de cada grupo. El efecto de tal enfoque sobre el concepto de paradigma se describe en el sexto de los ensayos de la Segunda Parte, y se amplía en relación con otros aspectos de mi libro, en el capítulo que se añade a su segunda edición. En el ensayo "Las tradiciones matemáticas y las tradiciones experimentales" se aplica el mismo enfoque a algunas de las más prolongadas controversias históricas.

Las relaciones que hay entre *La estructura* y los ensayos de que consta la Segunda Parte son tan obvias que no requieren de mayor análisis, por lo que las trataré de manera diferente, anotando el papel que han desempeñado en el desarrollo de mis ideas sobre el cambio científico. Por esta razón, vuelvo a mis apuntes autobiográficos en este prefacio. Luego de que en 1947 descubrí por casualidad el concepto de revolución científica, me tomé el tiempo necesario para concluir mi tesis sobre física y luego comencé a ilustrarme sobre la historia de la ciencia.[4] La primera oportunidad que tuve de exponer mis ideas —aun en desarrollo— fue cuando acepté dar la serie de Conferencias Lowell en el verano de 1951; y el resultado principal de esa aventura fue que me convencí de que aún no sabía lo suficiente ni de historia ni de mis ideas, como para proceder a publicar mi trabajo. Durante un tiempo, que yo esperaba hubiese sido corto pero que en realidad fue de siete años, hice a un lado mis intereses filosóficos y me dediqué exclusivamente a la historia. Apenas a fines de la década de 1950, después de haber terminado un libro sobre la revolución copernicana[5] y recibido un cargo universitario, fue cuando tomé la decisión de volver a la filosofía.

[4] La primera parte del tiempo que necesité para estudiar por mi cuenta fue sufragada gracias a mi nombramiento como miembro de la Harvard Society of Fellows. Sin ese nombramiento, dudo que hubiera tenido éxito mi transición.

[5] *The Copernican Revolution: Planetary Astronomy in the Development of Western Thought* (Cambridge, Mass., 1957).

El punto al que había llegado lo indica el artículo que inicia la Segunda Parte, "La estructura histórica del descubrimiento científico". Aunque no terminé de escribirlo hasta mediados de 1961—época en la cual estaba prácticamente concluido mi libro sobre las revoluciones—, las ideas expuestas y los principales ejemplos empleados ya eran viejos para mí. El desarrollo científico depende en parte de un proceso de cambios no acumulativos, es decir, se trata de un proceso revolucionario. Algunas revoluciones son grandes, como las asociadas con los nombres de Copérnico, Newton o Darwin, pero en su mayoría son mucho más pequeñas, como el descubrimiento del oxígeno o del planeta Urano. Estos cambios se anuncian, según creo, con la conciencia de una anomalía, de un acontecimiento o conjunto de acontecimientos que no encaja en las maneras existentes de ordenar los fenómenos. Por consiguiente, los cambios resultantes requieren de "pensar con otra cabeza", de manera que queden regularizadas las anomalías y también que, durante ese proceso, se transforme el orden que muestran algunos otros fenómenos, antes del cambio considerados como libres de problema. Si bien implícita, esa concepción de la naturaleza del cambio revolucionario fundamenta igualmente el artículo "La conservación de la energía", incluido en la Primera Parte, particularmente en sus páginas iniciales. Fue escrito durante la primavera de 1957, y estoy seguro de que en esa época, y quizá muchísimo antes, pudo haberse terminado "La estructura histórica del descubrimiento científico".

Avance lógico en mi tarea de comprender esta materia fue el que estuvo íntimamente relacionado con la elaboración del segundo artículo de la Segunda Parte, "La función de la medición", tema que antes no me había puesto a considerar. Tuvo su origen cuando fui invitado a participar en el Coloquio de Ciencias Sociales, celebrado en octubre de 1956 en la Universidad de California, en Berkeley, fue revisado y ampliado hasta más o menos su forma presente durante la primavera de 1958. La segunda sección, "Motivos de la medición normal", fue producto de esas revisiones, y su segundo párrafo contiene la primera descripción de lo que yo había venido llamando "ciencia normal". Al releer ese párrafo ahora, me siento sorprendido por las siguientes palabras: "En su mayor parte, la práctica científica es, pues, una compleja y laboriosa operación de limpieza que despeja el camino abierto por los avances teóricos más recientes y gracias a ella se preparan los puntos esenciales para el siguiente avance." La transición de esa manera de exponer el punto a "La ciencia normal como

solución de enigmas", título del capítulo IV de *La estructura,* no requirió que se dieran muchos otros pasos. Si bien he reconocido durante algunos años que, entre las revoluciones, debe haber necesariamente períodos regidos por uno u otro modo tradicional de práctica, me había sido imposible captar la naturaleza de esa práctica ligada a la tradición.

Del siguiente artículo, "La tensión esencial", tomé el título para este volumen. Preparado para una conferencia que tuvo lugar en junio de 1959 y publicado como parte de los demás documentos de la misma, muestra un modesto avance hacia la noción de ciencia normal. Considerado autobiográficamente, sin embargo, su importancia reside en su introducción al concepto de paradigmas. Di con ese concepto apenas unos cuantos meses antes de la conferencia, y cuando volví a trabajarlo, entre 1961 y 1962, su contenido había crecido desmesuradamente, encubriendo mi intento original.[6] El párrafo final de "Segundos pensamientos sobre paradigmas", también reimpreso aquí, sugiere la forma en que ocurrió tal expansión. Este prefacio autobiográfico puede ser lugar adecuado para explicarlo mejor.

De 1958 a 1959, estuve como becario en el Centro de Estudios Avanzados en Ciencias de la Conducta, en Stanford, California, tratando de escribir el borrador de mi libro sobre las revoluciones. Poco después de mi llegada, elaboré la primera versión de un capítulo sobre el cambio revolucionario, pero resultó muy problemático preparar un capítulo sobre el interludio normal entre revoluciones. En esa época, concebía yo la ciencia normal como resultado del consenso prevaleciente entre los miembros de una comunidad científica. Las dificultades surgieron cuando traté de definir ese consenso enumerando los elementos de acuerdo en torno de los cuales girase el consenso entre los miembros de una determinada comunidad científica. Tratando de explicar la forma en que los miembros de una comunidad investigan y, especialmente, la unanimidad con la que suelen evaluar

[6] Inmediatamente después de haber concluido el primer borrador de *La estructura*, a principios de 1961, escribí lo que durante algunos años tomé como la versión revisada de "La tensión esencial", empleada para la conferencia que di en Oxford, en julio de ese mismo año. Ese artículo fue publicado en A. C. Crombie, compilador, *Scientific Change* (Londres y Nueva York, 1963), pp. 347-369, con el título de "The function of Dogma in Scientific Research". Comparándolo con "La tensión esencial" (fácil de encontrar en C. W. Taylor y F. Barron, compiladores, *Scientific Creativity: Its Recognition and Development* [Nueva York, 1963], pp. 341-354), se aprecia claramente tanto la rapidez como el grado de expansión de mi noción de paradigma. Por causa de tal expansión, los dos artículos parecen subrayar asuntos diferentes, cosa que yo, de ninguna manera, traté de hacer.

las investigaciones de otros, tuve que atribuirles un consenso acerca de las características que definen términos cuasiteóricos como "fuerza" y "masa", o "mezcla" y "compuesto". Pero mi experiencia, tanto de científico como de historiador, me indicaba que rara vez se enseñan tales definiciones y que, cuando tal ocurre, el asunto suele terminar en profundo desacuerdo. Al parecer, no existía el consenso que yo andaba buscando, pero, sin él, no encontraba la manera de escribir el capítulo sobre la ciencia normal.

A principios de 1959, terminé por darme cuenta de que no era esa la clase de consenso que andaba buscando. A los científicos no se les enseñan definiciones, pero sí formas estandarizadas de resolver problemas seleccionados en los que figuran términos como "fuerza" o "compuesto". Si aceptaran un conjunto lo suficientemente vasto de estos ejemplos estandarizados, entonces podrían modelar sobre ellos sus investigaciones ulteriores, sin necesidad de concordar acerca del conjunto de características de estos ejemplos que justificasen su estandarización y, por ende, su aceptación. Ese procedimiento me pareció muy semejante al empleado para que los estudiantes de idiomas aprendan a conjugar verbos y a declinar nombres y adjetivos. Aprenden a recitar, por ejemplo, *amo, amas, amat, amamus, amatis, amant,* y más tarde recurren a esa forma estandarizada para producir el presente de indicativo de otros verbos latinos de la primera conjugación. En inglés,* esos ejemplos estandarizados que se emplean en la enseñanza de idiomas reciben el nombre de "paradigmas", y no me pareció violenta la aplicación de ese término a problemas científicos estandarizados como el del plano inclinado y el del péndulo cónico. Así es como ingresa el concepto de "paradigma" en "La tensión esencial", ensayo preparado aproximadamente un mes más tarde después de haber reconocido la utilidad de tal concepto. ("[Los libros de texto] muestran soluciones concretas a problemas concretos que dentro de la profesión se han venido a aceptar como paradigmas, y luego se le pide al estudiante que... resuelva problemas emparentados estrechamente, tanto en método como en contenido, con los que aparecen en el texto o con los que se ha acompañado la conferencia.") Aunque el texto del ensayo sugiere en otra parte lo que iba a ocurrir durante los próximos dos años, es "consenso", y no "paradigma", el término que termina por prevalecer al analizar la ciencia normal.

Y resultó que el concepto de paradigma era el elemento faltante para escribir el libro, así que entre el verano de 1959 y el invierno de 1960

* También en español. [T.]

culminé la tarea de redactar el primer borrador. Por desgracia, en ese proceso, los paradigmas adquirieron vida propia y casi desplazaron las ideas acerca del consenso. Habiendo empezado sencillamente como soluciones a problemas selectos, su alcance se amplió hasta incluir, primero, los libros clásicos en que aparecieron por primera vez estos ejemplos aceptados y, por último, el conjunto total de compromisos compartidos por los miembros de una determinada comunidad científica. Ese empleo global del término es el único que han reconocido la mayoría de los lectores, y el resultado inevitable ha sido caer en la confusión: muchas de las cosas que allí se dicen acerca de los paradigmas se aplican tan sólo al sentido original del término. Aunque ambos sentidos me parecen importantes, es preciso distinguirlos, y la palabra "paradigma" se adecua exclusivamente al primer sentido. Admito, pues, que he hecho las cosas innecesariamente difíciles para muchos lectores.[7]

No es necesario comentar uno por uno los restantes cinco artículos de este volumen. Sólo el titulado "La función de los experimentos pensados" fue escrito antes que el libro, y su influencia sobre la forma de éste es prácticamente nula; de los tres intentos que hice por recuperar el sentido original del concepto de paradigma,[8] aunque publicado al último, el primer trabajo que escribí fue "Segundos pensamientos sobre paradigmas"; y "Objetividad, juicio de valor y elección de teoría" es una conferencia inédita en la que trato de responder a la acusación de que yo hago de la elección de teoría un asunto por completo subjetivo. Esos artículos hablan por sí mismos, junto con otros dos que no he mencionado todavía. En lugar de comentarlos uno por uno, concluiré este prefacio aislando dos aspectos de un tema que se relaciona con esos cinco artículos.

En los estudios tradicionales sobre el método científico se ha tratado de encontrar un conjunto de reglas que le permita a cualquier *individuo*, que las siga, producir conocimientos demostrables.

[7] Wolfgang Stegmüller ha logrado superar muy bien estas dificultades. En la sección "What Is a Paradigm?", de su *Structure and Dynamics of Theories*, traducción al alemán de W. Wohlhueter (Berlín, Heidelberg y Nueva York, 1976), pp. 170-180, analiza los tres sentidos del término, y el segundo, "Class II", capta precisamente mi intención original.

[8] "Segundos pensamientos" lo preparé para una conferencia que di en marzo de 1969. Después de completarlo, retomé el tema en "Reflections on My Critics", el capítulo final de I. Lakatos y A. Musgrave, compiladores, *Criticism and the Growth of Knowledge* (Cambridge, 1970). Por último, todavía en 1969, preparé el capítulo extra para la segunda edición de *La estructura*.

Yo insisto, sin embargo, en que aunque la ciencia es practicada por individuos, el conocimiento científico es intrínsecamente un producto de *grupo* y que es imposible entender tanto su eficacia peculiar como la forma de su desarrollo sin hacer referencia a la naturaleza especial de los grupos que la producen. En ese sentido, mi trabajo tiene profundas raíces sociológicas, pero no de una manera que permita separar el sujeto de la epistemología.

Estas convicciones están implícitas a todo lo largo del ensayo "¿Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación?", en el cual comparo mis puntos de vista con los de sir Karl Popper. (Se someten a prueba las hipótesis de los individuos, mientras que sólo se suponen los compromisos compartidos por el grupo a que pertenecen; los compromisos de grupo, por otra parte, no se someten a prueba, y el proceso por el cual son desplazados difiere drásticamente del relativo a la evaluación de las hipótesis; términos como el de "error" pueden funcionar sin problemas en el primer contexto, pero ser enteramente inútiles en el segundo; y así por el estilo.) Dichas convicciones se vuelven explícitamente sociológicas al final de ese artículo y a todo lo largo de la conferencia sobre la elección de teoría, en donde trato de explicar cómo los valores compartidos, aunque insuficientes para dictar las decisiones individuales, pueden determinar, sin embargo, la elección del grupo que los comparte. Expresadas de manera muy diferente, las mismas convicciones se traslucen en el ensayo final de este volumen, en el cual aprovecho la licencia que puede tomarse el comentarista para explorar las formas en que las diferencias de valores compartidos —y de público— pueden influir decisivamente en las pautas de desarrollo características de la ciencia y el arte. Me parece que actualmente urgen comparaciones, más inteligentes y sistemáticas, de los sistemas de valores que rigen entre los profesionales de las diversas disciplinas. Probablemente se debiera empezar con grupos relacionados estrechamente, por ejemplo físicos e ingenieros o biólogos y médicos. Aquí viene al caso el epílogo a "La tensión esencial".

En la literatura de la sociología de la ciencia, quienes han estudiado especialmente el sistema de valores de la ciencia han sido R.K. Merton y sus seguidores. Hace poco, a este grupo lo han criticado repetidamente, y a veces en desagradable tono, algunos sociólogos que, basándose en mi trabajo y a veces describiéndose, de manera informal, como "kuhnianos", recalcan que los valores varían de una comunidad a otra, así como de época en época. Además, señalan estos críticos que, cualesquiera que sean los valores de una comunidad dada, uno u

otro de sus miembros los violan repetidamente. En esas circunstancias, piensan que es absurdo creer que en el análisis de los valores se tiene un medio eficaz para esclarecer la conducta científica.[9]

Los comentarios precedentes, así como los artículos a los que sirven de introducción, indican, sin embargo, lo desencaminada que yo pienso que es esa clase de crítica. Mi propio trabajo ha tenido poco que ver con la especificación de los valores científicos, pero parte de la existencia y la función de éstos.[10] Esa función no exige que los valores sean idénticos en todas las comunidades científicas, ni en una comunidad científica dada, ni en todas las épocas. Tampoco requiere que un sistema de valores esté especificado con tanta precisión y se halle tan libre de conflictos internos que, incluso como principio abstracto, determine inequívocamente las elecciones que deba hacer un científico como individuo. En cuanto a eso, la significación de los valores como guías para la acción no se reduciría si los valores fuesen, como algunos pretenden, meras racionalizaciones que han surgido con la finalidad de proteger intereses especiales. A menos que se esté ligado a una teoría tendenciosa de la historia o la sociología, es difícil no reconocer que las racionalizaciones suelen afectar más a quienes las proponen, que a quienes van dirigidas.

Las últimas partes de "Segundos pensamientos sobre paradigmas" y "La función de los experimentos pensados" en su totalidad exploran otro problema central que surge al considerar el conocimiento científico como producto de grupos especiales. Lo que liga a los miembros de una determinada comunidad científica y los diferencia de los miembros de otra aparentemente igual es la posesión de un lenguaje común o dialecto especial. Estos ensayos sugieren que, al aprender tal lenguaje, como deben participar en el trabajo de su comunidad, los nuevos miembros adquieren un conjunto de compromisos cognoscitivos que, en principio, no pueden analizarse cabalmente dentro del marco de referencia de ese lenguaje. Tales compromisos son consecuencia de las formas en que los términos, las frases y las oraciones del lenguaje son aplicados a la naturaleza, y su pertinencia con res-

[9] El *locus classicus* para esta clase de crítica es S. B. Barnes y R. G. A. Dolby, "The Scientific Ethos: A Deviant Viewpoint", *Archives Européennes de Sociologie*, 11(1970): 3-25. Desde entonces ha sido retocado aquí y allá frecuentemente, especialmente en la revista *Social Studies of Science* (antes llamada *Science Studies*).

[10] Para una expresión anterior, véase *The Structure of Scientific Revolutions*, 2ª, ed. (Chicago, 1970), pp. 152-156, 167-170. Estos pasajes se han venido transcribiendo sin cambio desde la primera edición de 1962.

pecto al vínculo naturaleza-lenguaje es lo que hace que sea tan importante el "paradigma" en su sentido original, más estricto.

Al escribir el libro sobre las revoluciones científicas, hablé de éstas como de episodios en que cambian los significados de ciertos términos científicos, y sugerí que el resultado consistía en una incomensurabilidad de puntos de vista y en una interrupción parcial de la comunicación entre los exponentes de teorías diversas. Luego, he terminado por reconocer que con "cambio de significado" sólo se menciona un problema, pero no un fenómeno aislable, y ahora estoy persuadido, principalmente por el trabajo de Quine, de que los problemas de la inconmensurabilidad y la comunicación parcial deben tratarse de otra manera. Los exponentes de teorías diferentes —o de paradigmas diferentes, en el sentido amplio del término— hablan idiomas diferentes: lenguajes que expresan diferentes compromisos cognoscitivos, adecuados a mundos diferentes. Sus capacidades para captar los puntos de vista ajenos, por consiguiente, están limitadas inevitablemente por las imperfecciones de los procesos de traducción y de determinación de la referencia. En estos problemas me estoy ocupando ahora, y espero que no pasará mucho tiempo antes de que pueda decir algo más acerca de ellos.

PRIMERA PARTE

ESTUDIOS HISTORIOGRÁFICOS

I. LAS RELACIONES ENTRE LA HISTORIA Y LA FILOSOFÍA DE LA CIENCIA*

El tema sobre el que se me ha pedido que les hable hoy es el de las relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia. Para mí, más que para la mayoría, tiene este tema una significación profunda, así en lo personal como en lo intelectual. Me presento ante ustedes como historiador de la ciencia. Mis estudiantes, en su mayoría, desean ser historiadores, no filósofos. Y yo soy miembro de la Asociación Norteamericana de Historia, no de la de filosofía. Pero casi durante diez años, después de que descubrí la filosofía cuando acababa de entrar a la universidad, tal disciplina fue mi principal interés fuera de la carrera, y repetidas veces estuve considerando convertirla en mi vocación, haciendo a un lado la física teórica, el único campo en el cual tengo una formación completa. Durante esos años, que se prolongaron hasta más o menos 1948, nunca se me ocurrió que la historia o la historia de la ciencia pudieran tener el menor interés. Para mí, entonces, como para la mayoría de los científicos y filósofos todavía, el historiador era un hombre que recoge y verifica hechos acerca del pasado y que luego los ordena cronológicamente. Es evidente que la producción de crónicas tendría poco atractivo para algunos de ellos cuya actividad fundamental gira en torno de la inferencia deductiva y la teoría fundamental.

Más adelante veremos por qué la imagen del historiador como cronista tiene tan especial encanto tanto para los filósofos como para los científicos. Su atracción, tan continua como selectiva, no se debe ni a una mera coincidencia ni a la naturaleza de la historia y, por consiguiente, puede resultar especialmente reveladora. Pero hasta este momento mi tema sigue siendo autobiográfico. Lo que me hizo pasar tardíamente de la física y la filosofía a la historia fue el descubrimiento de que la ciencia, leída en sus fuentes, parecía una empresa muy distinta de la que se halla implícita en la pedagogía de la ciencia y explícita en los escritos filosóficos comunes y corrientes sobre el

* Conferencia Isenberg, inédita, dada en la Universidad del Estado de Michigan el 1º de marzo de 1968. Revisada en octubre de 1976.

método científico. Asombrado, me di cuenta de que la historia podía serle útil al filósofo de la ciencia y quizá también al epistemólogo, y todo ello de maneras que trascendiesen su papel clásico de fuente de ejemplos relativos a posiciones ocupadas de antemano. Es decir, podría ser una muy especial fuente de problemas e inspiración. Por lo tanto, aunque me convertí en historiador, en el fondo mis intereses continuaron siendo filosóficos, y en los últimos años dichos intereses se han venido manifestando cada vez con más claridad en los trabajos que he publicado. Hasta cierto punto, pues, hago tanto historia como filosofía de la ciencia. Pienso, desde luego, en la relación que hay entre ellas, pero también vivo esa relación, lo que son dos cosas distintas. Esa dualidad de mis intereses se reflejará inevitablemente en la forma en que ataque el tema de hoy. Mi plática se dividirá en dos partes muy diferentes, pero muy relacionadas. La primera es un informe, bastante personal, de las dificultades que se encuentran en todo intento por unificar los dos campos mencionados. La segunda parte, referente a problemas más explícitamente intelectuales, se refiere a que esa *aproximación o conjunción* vale integramente el especial esfuerzo que exige.

A pocos de los miembros de este público habrá necesidad de explicarles que, por lo menos en los Estados Unidos, la historia y la filosofía de la ciencia son disciplinas separadas y distintas. Permítaseme, desde el principio, exponer las razones para insistir en que debe mantenerse tal separación. Aunque es necesaria una nueva clase de diálogo entre esos dos campos, tal diálogo debe ser interdisciplinario y no intradisciplinario. Quienes saben de mi participación en el Programa de Historia y de Filosofía de la Ciencia de la Universidad de Princeton tal vez encuentren extraña mi insistencia en que no hay tal campo. En Princeton, sin embargo, los historiadores y los filósofos de la ciencia llevan cursos diferentes —pero que coinciden parcialmente—, presentan diferentes exámenes generales, y reciben sus grados de departamentos diferentes, ya el de historia, ya el de filosofía. Lo que resulta particularmente admirable en ese diseño es que brinda una base institucional para un diálogo entre campos distintos, sin subvertir la base disciplinaria de ninguno de ellos.

Creo que el término de subversión no es demasiado fuerte para el probable resultado de cualquier intento por hacer uno solo de ambos campos. Éstos difieren en varias de sus principales características constitutivas, de las cuales la más general y evidente es la relativa a sus objetivos. El producto final de la mayor parte de la investigación

histórica es una narración acerca de hechos particulares del pasado. Es, en parte, una descripción de lo que ocurrió —una *mera* descripción suelen decir los filósofos y científicos—. Su éxito depende, sin embargo, no sólo de la exactitud sino también de la estructura. La narración histórica debe hacer plausibles y comprensibles los acontecimientos que describe. En cierto sentido, al cual volveré más tarde, la historia es una empresa explicatoria; y, a pesar de ello, sus funciones explicatorias las logra sin recurrir casi a generalizaciones explícitas. (Señalaré aquí, para ampliarlo más adelante, que cuando los filósofos discuten acerca del papel de las leyes de la historia, lo característico es que extraigan sus ejemplos del trabajo de economistas y sociólogos, no de historiadores. En los escritos de estos últimos, es muy difícil encontrar generalizaciones del tipo de las leyes.) El filósofo, por otra parte, trata ante todo de llegar a generalizaciones explícitas y especialmente a las que poseen validez universal. No es un narrador verídico o falso. Su objetivo es descubrir y establecer lo que es verdad en todo tiempo y lugar, antes que hacer inteligible lo que ocurrió en un tiempo y un lugar determinados.

Todos ustedes querrán articular y precisar esas vastas generalizaciones, pero algunos de ustedes reconocerán que surgen entonces graves problemas de distinción. Y unos cuantos se percatarán de que las distinciones de esta naturaleza son por completo vacías; por lo tanto me aparto de ellas para pasar a sus consecuencias. Son éstas las que hacen importante la distinción de objetivos. Decir que la historia de la ciencia y la filosofía de la ciencia tienen objetivos diferentes es sugerir que no hay nadie que pueda practicarlas al mismo tiempo. Pero no se sugiere que haya dificultades tan grandes que no puedan ser practicadas alternadamente, trabajando de tiempo en tiempo en problemas históricos y de cuando en cuando sobre problemas filosóficos. Como es obvio que mi manera de trabajar es esta última, creo firmemente que tal cosa puede hacerse. A pesar de todo, es importante reconocer que en cada cambio hay de por medio una dislocación personal, al abandonar una disciplina por otra con la que no es del todo compatible la primera. Si al mismo tiempo se le enseñaran a un estudiante ambas disciplinas se correría el riesgo de que no aprendiera ninguna de ellas. Convertirse en filósofo es, entre otras cosas, adquirir una particular actitud mental hacia la evaluación tanto de problemas como de las técnicas relativas a la solución de aquéllos. Aprender a ser historiador es algo que exige también una determinada actitud mental, pero el resultado de las dos experiencias de aprendizaje no es el

mismo. Tampoco, creo, es un compromiso posible, pues presenta problemas de la misma clase que el compromiso entre el pato y el conejo del bien conocido diagrama gestaltiano. Si bien la mayoría de la gente puede ver alternada y fácilmente el pato y el conejo, no hay ninguna cantidad de ejercicio y esfuerzo ocular que produzca un pato-conejo.

Esa idea de la relación entre empresas cognoscitivas no fue la única que se me ocurrió en la época de mi conversión a la historia, hace unos veinte años. Proviene, más bien, de muchas experiencias, algunas dolorosas, lo mismo como profesor que como escritor. En la primera de estas dos funciones, por ejemplo, he impartido seminarios para graduados en los que futuros historiadores y filósofos leen y discuten los mismos trabajos clásicos sobre ciencia y filosofía. Ambos grupos fueron concienzudos y ambos realizaron minuciosamente sus tareas; pero muchas veces fue difícil creer que ambos grupos habían trabajado con los mismos textos. Es indudable que los dos grupos habían mirado los mismos signos, pero habían sido adiestrados —o, si se quiere, programados— para procesarlos de modos diferentes. Inevitablemente, fueron los signos procesados —por ejemplo, sus notas de lectura o sus recuerdos del texto—, antes que los propios signos, los que constituyeron la base de sus informes, paráfrasis y contribuciones a la discusión.

Sutiles distinciones analíticas que se les escaparon por completo a los historiadores adquirieron importancia primordial cuando los filósofos informaron sobre lo que habían leído. Las confrontaciones resultantes fueron invariablemente educativas para los historiadores, pero la culpa no siempre fue de ellos. A veces, las sutilezas amplificadas por los filósofos no se encontraban en el texto original. Eran productos del desarrollo posterior de la ciencia o la filosofía, y cuando los filósofos, al procesar signos, las introducían, se alteraba la discusión. O bien, al escuchar a los historiadores parafrasear una posición, los filósofos señalaban huecos e incongruencias que los historiadores no habían visto. Pero, a veces, los filósofos se asombraban al descubrir que la paráfrasis era exacta, pues los huecos estaban en el original. Sin saber que lo estaban haciendo así, los filósofos habían mejorado la exposición mientras la leían, sabedores de cómo sería su forma ulterior. Aun con el texto frente a ellos, por lo regular era difícil y a veces imposible persuadirlos de que el hueco estaba ahí realmente, que el autor no había percibido la lógica de la argumentación tan bien como ellos. Pero si los filósofos terminaban por captar esos detalles, regularmente

captaban algo más importante todavía: que lo que ellos consideraban huecos e incongruencias en realidad resultaban de distinciones analíticas hechas por ellos mismos; y que la argumentación original, si bien de una filosofía ya no vigente, era válida en sus propios términos. En este punto, la totalidad del texto se les ofrecía como algo diferente. Tanto la magnitud de la transformación como la dificultad pedagógica de provocarla deliberadamente hacen recordar la permutación gestaltiana.

Igual de impresionante, como prueba de maneras diferentes de procesar lo mismo, fue la amplitud del material textual anotado y comunicado por los dos grupos. Los historiadores se movieron siempre entre márgenes más amplios. Por ejemplo, edificaron partes importantes de sus reconstrucciones sobre pasajes en que el autor había introducido una metáfora para, según él, "ayudar al lector". O habiendo notado en el texto un error o una incongruencia evidentes, el historiador empleaba parte de su tiempo en explicar por qué un hombre de talento había sufrido tal desliz. ¿Qué aspecto del pensamiento del autor, se preguntaba el historiador, puede descubrirse al notar que una inconsistencia tan obvia para nosotros fue invisible para él y quizá ni siquiera fue incongruencia? Para los filósofos, diestros en argumentar pero no en reconstruir el pensamiento histórico, tanto las metáforas como los errores estaban fuera de lugar y, a veces, ni siquiera los notaban. Su objetivo, que perseguían con una tenacidad, destreza y sutileza rara de encontrar entre los historiadores, consistía en la generalización filosófica explícita y en los argumentos que podrían exponerse para defenderla. A resultas de ello, los trabajos que entregaron al final del curso fueron por lo común más breves y coherentes que los presentados por los historiadores. Pero éstos, aunque torpes para el análisis, por lo general reprodujeron con mayor exactitud los principales ingredientes conceptuales del pensamiento de los hombres que ambos grupos habían estudiado juntos. El Galileo o el Descartes que apareció en los artículos de los filósofos era un mejor científico o un mejor filósofo, pero, como personaje del siglo XVII, menos plausible que el presentado por los historiadores.

No tengo nada en contra de estos modos de leer y de informar sobre lo leído. Ambos son componentes esenciales así como productos lógicos de la formación profesional. Pero las profesiones son diferentes y, con toda propiedad, hay que poner en ellas primero cosas primordiales diferentes. En mis seminarios, para los filósofos las tareas prioritarias fueron, en primer lugar, la de aislar los elementos capitales de una

posición filosófica y, luego, criticarla y desarrollarla. Tales estudiantes, si se quiere, estaban afilando sus ingenios contra las opiniones expuestas por sus más grandes predecesores. Muchos de ellos continuarían haciéndolo así durante toda su vida profesional. Los historiadores, por otro lado, se ocupaban de lo posible y lo general únicamente con respecto a la forma en que habían guiado a los hombres que ellos estudiaban. Su interés primordial era el de descubrir lo que cada uno de esos hombres había pensado, cómo había llegado a pensarlo, y qué consecuencias había tenido esto para el personaje en cuestión, sus contemporáneos y sus sucesores. Ambos grupos pensaban que estaban intentando captar lo esencial de una posición filosófica del pasado, pero sus maneras de hacerlo estaban condicionadas por los valores primarios de sus respectivas disciplinas, por lo que sus resultados eran correspondientemente distintos. Sólo en el caso de que los filósofos se convirtiesen a la historia o los historiadores a la filosofía, con más trabajo conjunto se produciría una convergencia significativa.

Estas singulares pruebas de una profunda separación interdisciplinaria dependen de un testimonio tan personal que quizá convenzan únicamente al autor. Pero, como la experiencia de la cual provienen es relativamente rara, vale la pena registrarlas. En varias ocasiones, he redactado artículos de física, de historia y de algo que se parece a la filosofía. En los tres casos el proceso de redactar resulta desagradable, pero en otros de sus aspectos la experiencia no es la misma. Cuando se comienza a escribir un artículo de física, la investigación está concluida. Todo lo que se necesita está contenido en las notas tomadas. Las tareas restantes son las de selección, condensación y "traducción" a un lenguaje claro. Sólo la última suele presentar dificultades, y éstas, de ordinario, no son graves.

La preparación de un artículo sobre historia es diferente, pero hay un paralelo importante. Antes de comenzar a escribir, debe realizarse una gran cantidad de investigación. Deben localizarse y examinarse libros, documentos y registros de otra clase; deben tomarse notas, organizarlas y reorganizarlas. En estas tareas, se pueden ir meses y hasta años. La conclusión de tal trabajo no es, como en la ciencia, la conclusión del proceso creativo. No basta con reunir las notas seleccionadas y condensadas para hacer una narración histórica. Además, aunque la cronología y la estructura narrativa le permitan al historiador escribir más bien largamente y con cierta seguridad, basándose en sus notas y en un plan general, casi siempre hay puntos clave en los cuales su pluma o su máquina de escribir rehúsan funcionar y la

empresa termina por llegar a un punto muerto. Y pasan horas, días y semanas antes de que descubra qué es lo que lo ha detenido. No obstante que su plan general le indique lo que viene en seguida, y aunque sus notas le informen de todo lo necesario, desde el punto al que acaba de llegar no hay transición viable hacia la parte siguiente de la narración. Para que las partes se conecten, hacen falta elementos esenciales que se omitieron en lugares anteriores de la narración porque en ellos no los exigía la estructura narrativa. Así pues, el historiador tiene que volverse atrás, a veces a documentos y a tomar notas para reescribir una parte considerable de su artículo a fin de que puedan conectarse correctamente las partes. Mientras no haya escrito la última página, le será imposible estar seguro de que no tendrá que comenzar de nuevo, quizá desde el principio.

Sólo la última parte de esta descripción se aplica a la preparación de un artículo de filosofía, y en ésta los regresos son más frecuentes y las consiguientes frustraciones mucho más intensas. Sólo el hombre que posea una gran capacidad de memorización, que le permita redactar en mente todo un artículo, puede esperar largos periodos de escribir sin interrupciones. Pero si la redacción de un texto de filosofía muestra algunos paralelos con la historia, lo que ocurre antes es algo completamente distinto. Salvo en la historia de la filosofía y tal vez en la lógica, no hay nada que se asemeje al periodo de investigación preparatoria del historiador; literalmente hablando, no hay en la mayor parte de la filosofía nada que equivalga a la investigación. Se parte de un problema y de un indicio para solucionarlo, ambos encontrados al criticar el trabajo de algunos otros filósofos. Uno se angustia —en el papel, en la cabeza, en las discusiones con los colegas—, en espera del momento en que se esté listo para escribir. Muy a menudo la sensación de estar listo es falsa, y se reanuda una y otra vez el proceso de preocuparse, hasta que finalmente se da a luz un artículo. Por lo menos, a mí eso es lo que me pasa, aunque el artículo venga todo junto y no por partes como ocurre en las narraciones históricas.

A pesar de que en la filosofía no hay realmente investigación, sí hay otra cosa que toma el lugar de ésta y que virtualmente se desconoce en física y en historia. Para reflexionar sobre este punto, volvamos a las diferencias halladas entre las percepciones y las conductas de los dos grupos de estudiantes de mis seminarios. Los filósofos, cuidadosa y diestramente, criticaron los trabajos de sus compañeros y también los de sus predecesores. Gran parte de lo que discutieron y publicaron es en este sentido socrático: es una yuxtaposición de ideas concebidas a

partir de las ideas de otros, por medio de la confrontación y el análisis críticos. La crítica de que los filósofos viven cosechando del huerto ajeno no fue bien acogida, pero con ella se captó lo esencial del trabajo que se estaba realizando. Pues se afirmaba que los filósofos de mis seminarios estaban construyendo sus propias posiciones mediante una confrontación analítica, en este caso, con el pasado. Creo que en ningún otro campo la crítica desempeña un papel tan importante. A veces, los científicos corrigen minucias de los trabajos ajenos, pero el hombre que dedicara su carrera a crítico de minucias sería reducido al ostracismo por sus compañeros de profesión. También los historiadores sugieren a veces correcciones, y en ocasiones polemizan directamente con las escuelas rivales, cuyo enfoque de la historia desdeñan. Pero, en tales circunstancias, es raro el análisis cuidadoso, y el intento explícito de recoger y preservar las nuevas ideas de la otra escuela es algo prácticamente desconocido. Aunque influido en alto grado por el trabajo de sus predecesores y sus colegas, el historiador, como individuo, lo mismo que el físico y a diferencia del filósofo, realiza su trabajo a partir de fuentes, de datos que ha obtenido en su investigación. La crítica puede sustituir a la investigación, pero no hay equivalencia entre ellas, y cada una da lugar a disciplinas muy distintas.

Éstos son tan sólo los primeros pasos de una descripción cuasisociológica de la historia y la filosofía como empresas productoras de conocimiento. Pero esto es suficiente para que se advierta por qué yo, que admiro a ambas, sospecho que sería subversivo todo intento por convertirlas en una sola. Los convencidos por mí, o los que por una u otra razón no han necesitado ser convencidos, tienen, sin embargo, una pregunta diferente. Dadas las diferencias tan profundas y naturales que hay entre ambas empresas, ¿qué se pueden decir una a la otra? ¿Por qué he insistido tanto en la urgencia de un diálogo cada vez más activo entre ellas? Dirigiré el resto de mi charla de esta noche a tratar de responder la primera pregunta, especialmente una parte de ella.

Toda respuesta debe dividirse en dos partes que no guardan entre sí ninguna simetría y de las cuales la primera exige aquí apenas un resumen. Los historiadores de la ciencia necesitan la filosofía por razones evidentes y bien conocidas. Para ellos es una herramienta básica, igual al conocimiento de la ciencia. Hasta fines del siglo XVII, gran parte de la ciencia era filosofía. A quien no domine la esencia de las principales escuelas filosóficas de los periodos y las áreas que tenga en estudio, le será imposible desentrañar los problemas capitales de la historia de la ciencia. Además, es utópico esperar que todo

estudiante de historia de la ciencia salga de la facultad dominando la historia de la filosofía en su totalidad; por eso debe aprender a manejar esta clase de material en la medida en que sus investigaciones lo requieran. Lo mismo se aplica para los conceptos científicos que necesite, y en ambos campos debe ser iniciado por profesionales, quienes conocen las sutilezas y las trampas de sus respectivas disciplinas y, por tanto, pueden inculcar normas de agudeza, habilidad y rigor profesionales. En principio, no existe ninguna razón para que los historiadores de mis seminarios manejen torpemente las ideas filosóficas. Con una formación adecuada, la mayoría de ellos podría hacerlo bien. Por otra parte, los efectos de tal formación no deben limitarse a la manera en que traten las fuentes filosóficas como tales. No es común que los científicos sean filósofos, pero sí manejan ideas, y el análisis de las ideas ha sido desde hace mucho parte del quehacer filosófico. Los hombres que más hicieron por establecer la tan floreciente tradición contemporánea de la historia de la ciencia —pienso especialmente en A. O. Lovejoy y, sobre todo, en Alexandre Koyré— fueron filósofos antes de dedicarse a la historia de las ideas científicas. De ellos, mis colegas y yo hemos aprendido a reconocer la estructura y la coherencia de sistemas de ideas ajenos a los nuestros. La búsqueda de la integridad de un modo de pensar ya obsoleto no es lo que suelen hacer los filósofos; en realidad, muchos de ellos piensan que hacerlo es glorificar el error pasado. Pero el trabajo puede hacerse, y requisito para éste es la sensibilidad del filósofo para los matices conceptuales. No creo que los historiadores hayan aprendido sus últimas lecciones de esta fuente.

Éstas son razones suficientes para exhortar a la revitalización de una interacción, más vigorosa, entre los filósofos y los historiadores de la ciencia; pero con base en las mismas razones se plantean también otros problemas. Mi cometido fue relacionar la historia de la ciencia con la filosofía de la misma, antes que con la historia de la filosofía. ¿Es útil para el historiador de la ciencia adentrarse profundamente en la literatura de ese campo especial de la filosofía? Tengo que responder que lo dudo. Ha habido filósofos de la ciencia, especialmente los de una corriente vagamente neokantiana, de los cuales podrían aprender mucho los historiadores. Hago todo lo posible porque mis estudiantes lean a Émile Meyerson y a veces a León Brunschvigg. Pero recomiendo a estos autores por lo que encontraron en los materiales históricos, no por sus sistemas filosóficos, contra los cuales estoy, al igual que la mayoría de mis contemporáneos. Por otra parte, en las

corrientes que actualmente se dan en la filosofía de la ciencia, particularmente en lo que respecta a las del mundo de habla inglesa, hay muy poco que me parezca pertinente para el historiador. En estas corrientes se persiguen los objetivos y se captan los materiales de maneras que tienen más probabilidad de confundir que iluminar la investigación histórica. Hay en ellas mucho que admiro y considero valioso; pero esto se debe a que mis intereses no son de ninguna manera exclusivamente históricos. En los últimos años, no ha habido nadie que haya hecho tanto por esclarecer y profundizar mis consideraciones acerca de los problemas filosóficos como mi colega de Princeton, C. G. Hempel. Pero mi diálogo con él, así como mi conocimiento de su trabajo, no me ayuda en nada cuando trabajo en, digamos, la historia de la termodinámica o la teoría cuántica. Yo les recomiendo sus cursos a mis estudiantes de historia, pero no les insisto especialmente en que se inscriban.

Estos comentarios indican lo que pienso al afirmar que el problema de las relaciones entre la historia y la filosofía de la ciencia se divide en dos partes que están muy lejos de ser simétricas. Aunque no creo que la presente filosofía de la ciencia tenga mucho que darle al historiador de la misma, sí estoy convencido de que mucho de lo que se escribe sobre filosofía de la ciencia sería mejor si la historia le preparara antes el camino. Antes de tratar de justificar esta convicción debo introducir unas cuantas limitaciones. Cuando hablo aquí de historia de la ciencia, me refiero a esa parte primordial del campo que se refiere a la evolución de las ideas científicas, sus métodos y técnicas, no a esa parte cada vez más importante que hace hincapié en el *status* social de la ciencia, en especial los cambiantes patrones de educación científica, la institucionalización y el apoyo, tanto moral como económico. El significado filosófico de esa segunda clase de trabajo me parece mucho más problemático que el del primero, y en todo caso el examinarlo requeriría otra conferencia. Así pues, cuando hablo de la filosofía de la ciencia, no estoy pensando ni en esas tareas que se pierden en la lógica aplicada ni, al menos no con convicción, a las dirigidas a las consecuencias de las actuales teorías para solucionar los eternos problemas filosóficos como son el de la causación, o el espacio y el tiempo. Lejos de ello, pienso en ese campo central que se ocupa de lo científico en general, preguntándose, por ejemplo, cuál es la estructura de las teorías científicas, la posición de las entidades teóricas o las condiciones necesarias para que los científicos puedan asegurar que están produciendo conocimientos sólidos. Para esta parte de la filosofía de la

ciencia, y muy posiblemente para ella sola, la historia de las ideas y las técnicas científicas podría tener mucho que decir.

Para señalar cómo podría ser esto, permítaseme apuntar primero algo en que la filosofía de la ciencia es casi única entre las especialidades filosóficas reconocidas: la distancia que la separa de su objeto de estudio. En campos como la lógica y, cada vez más, la filosofía de las matemáticas, los problemas que atañen al profesional surgen del campo mismo. Las dificultades de reconciliar la consecuencia material con la relación de "si. . . entonces" del discurso normal puede ser una de las razones para buscar sistemas de lógica opcionales, pero no reduce la importancia ni la fascinación de los problemas generados por los sistemas de axiomas comunes y corrientes. En otras partes de la filosofía, señaladamente en la ética y la estética, los profesionales se dirigen a experiencias que comparten con vastas porciones de la humanidad y que, en todo caso, no son propiedad exclusiva de grupos profesionales claramente delimitados. Aunque sólo el filósofo pueda ser un esteticista, la experiencia estética es de toda la humanidad. Las filosofías de la ciencia y la ley se singularizan porque se dirigen a campos acerca de los cuales el filósofo como tal sabe muy poco. Y es más probable que los filósofos de la ley tengan una preparación más completa en su campo, que los filósofos de la ciencia en el suyo, y que por lo tanto trabajen con los mismos documentos que los hombres acerca de cuyos campos hablan. Creo que ésta es una de las razones de que los jueces y los abogados lean con más regularidad sobre filosofía de la ley, que los científicos sobre filosofía de la ciencia.

Mi primera afirmación, pues, consiste en que la historia de la ciencia puede contribuir a salvar la brecha que hay entre los filósofos de la ciencia y la propia ciencia, la cual puede ser para ellos tanto una fuente de problemas como de datos. No sugiero, sin embargo, que ésta sea la única disciplina que pueda desempeñar tal función. La experiencia real en la práctica de una ciencia determinada sería probablemente un recurso más eficaz que el estudio de su historia. La sociología de la ciencia, si es que llega a desarrollarse lo suficiente como para asir el contenido cognoscitivo de la ciencia junto con su estructura organizativa, podría hacerlo también. El interés del historiador por el desarrollo en razón del tiempo y la perspectiva complementaria de la que dispone al estudiar el pasado pueden conferirle particulares ventajas a la historia, a la primera de las cuales volveré más adelante. Pero lo que trato de explicar en este momento se limita a que la historia

brinda, de entre varios métodos posibles, el más práctico y accesible, gracias al cual el filósofo podría familiarizarse con la ciencia.

En contra de esta sugerencia, hay todo un arsenal de argumentos. Algunos afirmarán que la brecha, aunque desafortunada, no es grave. Muchos más insistirán en que posiblemente la historia no sirva para corregir este estado de cosas. Después de todo, la parte de la filosofía de la ciencia que actualmente se discute no se dirige hacia una determinada teoría científica, como no sea para ilustrar algo. Su objetivo es la teoría en general. Además, a diferencia de la historia, se ocupa relativamente poco del desarrollo temporal de la teoría, destacando, en lugar de éste, a la teoría como una estructura estática, como un ejemplo de conocimiento válido en un momento y un lugar particulares pero no especificados. Ante todo, en la filosofía de la ciencia no desempeña ningún papel la multitud de detalles particulares e idiosincrásicos que parecen ser la materia prima de la historia. En la empresa filosófica se trabaja con la reconstrucción racional y no hace falta conservar otros elementos que no sean los relativos a la ciencia como conocimiento válido. Se argumenta que, para tal fin, la ciencia contenida en los libros de texto de las facultades es la adecuada, si no la ideal. O, por lo menos, es adecuada si se completa con una exploración de unos cuantos clásicos científicos, quizá las *Dos nuevas ciencias,* de Galileo, junto con la "Introducción" y el "Escolio general", de los *Principios,* de Newton.

Habiendo insistido ya en que la historia y la filosofía de la ciencia tienen metas muy diferentes, no estoy reñido con la tesis de que trabajen muy bien con fuentes distintas. Pero la dificultad que se presenta con la clase de fuentes que hemos examinado consiste en que, al basarse en ellas, la reconstrucción que hace el filósofo no suele ser reconocida como ciencia, ni por los historiadores de ésta ni por los propios científicos —salvo quizá los científicos sociales, cuya imagen de la ciencia la extraen del mismo lugar de donde sale la del filósofo—. El problema no estriba en que la explicación que de la teoría da el filósofo sea demasiado abstracta, desprovista de detalles, demasiado general. Tanto los historiadores como los científicos pueden sostener que descartan tantos detalles como el filósofo, para ocuparse de los puntos esenciales, para hacer una reconstrucción racional. La dificultad se presenta cuando se trata de definir cuáles son esos puntos esenciales. Al historiador de mente filosófica le parece que el filósofo de la ciencia se equivoca al tomar por el todo unos cuantos elementos, para forzarlos a desempeñar funciones con las cuales, en principio, no

concuerdan y las cuales no desempeñan en realidad, no importa lo abstractamente que se describa esa práctica. Si bien tanto el filósofo como el historiador buscan los puntos esenciales, los resultados de sus investigaciones no son de ninguna manera los mismos.

No es éste el lugar para enumerar los ingredientes faltantes. En todo caso, muchos de ellos ya fueron descritos en mi trabajo anterior. Lo que sí quiero hacer es sugerir qué es lo que hace de la historia una posible fuente para una reconstrucción racional de la ciencia, diferente de la que se realiza hoy en día. Para tal fin, además, debo comenzar por insistir en que la historia no es la clase de empresa que se asegura en gran parte de la filosofía contemporánea. Argumentaré brevemente sobre lo que Louis Mink llama agudamente "la autonomía de la comprensión de la historia".

No creo que nadie siga pensando que la historia es una mera crónica, un conjunto de hechos ordenados conforme ocurrieron. La mayoría estaría de acuerdo en conceder que es una empresa de naturaleza explicativa, que induce a comprender, y por eso debe mostrar no únicamente hechos sino también las conexiones que hay entre ellos. Sin embargo, ningún historiador ha producido hasta la fecha una explicación plausible de la naturaleza de tales conexiones, y últimamente los filósofos han llenado el vacío resultante con lo que se conoce como el "modelo de ley encubierta". A éste lo veo como una versión coherente de la tan difundida imagen de la historia como disciplina desprovista de interés para los filósofos, científicos y científicos sociales en particular, que buscan generalizaciones del tipo de las leyes.

De acuerdo con los exponentes del modelo de ley encubierta, una narración histórica es explicativa en la medida en que los acontecimientos que describe están regidos por leyes de la naturaleza y la sociedad a las cuales el historiador tiene acceso consciente o inconsciente. Dadas las condiciones prevalecientes en el momento en que comienza la narración, y dado el conocimiento de las leyes encubiertas, debe uno ser capaz de predecir, quizá con la ayuda de otras condiciones insertadas a lo largo del camino, el curso futuro de partes principales de la narración. Lo más que el historiador puede decir es que ha explicado tales partes. Si las leyes no permiten otra cosa que una predicción muy general, se dice que se ha proporcionado un "esquema explicativo", en lugar de una explicación. Si no se puede hacer predicción alguna, entonces la narración no es una explicación.

Es evidente que el modelo de ley encubierta se ha extraído de una teoría de la explicación que corresponde a las ciencias naturales y

aplicado a la historia. Opino que, cualquiera que sea su mérito en los campos para los cuales se ideó, en esta aplicación realmente no encaja. Muy probablemente hay, o habrá, leyes de la conducta social aplicables a la historia. En cuanto estén determinadas, tarde o temprano los historiadores las emplearán. Pero el descubrir leyes de esa naturaleza incumbe primordialmente a las ciencias sociales y, salvo en la economía, se dispone de muy pocas todavía. Ya señalé que los filósofos encuentran en los escritos de los científicos sociales las leyes que les atribuyen a los historiadores. Agregaré ahora que, cuando extraen ejemplos de los escritos históricos, las leyes que infieren son tan obvias como dudosas; por ejemplo, "el hambre tiende a provocar tumultos". Probablemente la ley sea válida si se subrayan fuertemente las palabras "tiende a". ¿Pero se sigue de esto que un relato del hambre habida en la Francia del siglo XVIII es menos esencial en una narración que trate sobre la primera década del siglo, en que no hubo tumultos, que en otra que trate sobre la última década, en que sí los hubo?

La plausibilidad de una narración histórica no depende, naturalmente, del poder de unas cuantas leyes, tan dudosas como ésta. Si así fuera, entonces la historia no explicaría prácticamente nada. Con contadas excepciones, los hechos que llenasen las páginas de estas narraciones serían meros decorados, los hechos por los hechos mismos, desconectados entre sí y también de un objetivo global. Incluso los pocos hechos que en realidad estuviesen conectados por una ley se volverían carentes de interés, pues precisamente en la medida en que estuviesen "encubiertos" no agregarían nada a lo que ya se supiera. Déjeseme aclarar, sin embargo, que no estoy afirmando que el historiador no tenga acceso a leyes y generalizaciones, como tampoco que no deba emplearlas cuando las tenga a la mano. Lo que trato de decir es que, aunque muchas leyes puedan agregar sustancia a una narración histórica, no son esenciales para su capacidad explicativa. La cual produce en primer término los hechos que el historiador presenta y la manera como los yuxtapone.

En mis días de físico aficionado a la filosofía, mi concepción de la historia se asemejaba a la de los teóricos de la ley encubierta, y los filósofos de mis seminarios suelen empezar concibiéndola de la misma manera. Lo que cambió mi manera de pensar —y que frecuentemente cambia la de los filósofos— fue la experiencia de hacer una narración histórica. Esa experiencia es vital, pues la diferencia entre aprender historia y hacerla es mucho más grande que en la mayoría de los demás

campos creativos, incluida la filosofía. Concluyo, pues, entre otras cosas, que la capacidad de predecir el futuro no forma parte del arsenal del historiador. Él no es ni un científico social ni un profeta. No es mero accidente que, desde antes que comience a escribir, sepa el final de su narración lo mismo que el comienzo. No puede escribirse la historia sin esa información. Aunque no puedo ofrecer aquí otra filosofía de la historia ni otra manera de entender la explicación histórica, sí puedo bosquejar por lo menos una mejor imagen de la tarea del historiador, así como sugerir por qué su tarea podría producir una determinada clase de comprensión.

Creo que la actividad del historiador no puede compararse a la del niño que arma rompecabezas, cuyas piezas son cuadrados; el historiador recibe muchas piezas extra. Tiene o puede obtener los datos, no todos (¿qué sería eso?), pero sí una extensa colección. Su trabajo consiste en seleccionar de aquí un conjunto que pueda yuxtaponerse de manera que sus elementos formen lo que, en el caso del niño, sería una imagen de objetos reconocibles, organizados coherentemente, y lo que, para el historiador y sus lectores, es una narración plausible que envuelve motivos y conductas reconocibles. Como el niño con el rompecabezas, la actividad del historiador está gobernada por reglas que no pueden ser violadas. Ni en el rompecabezas ni en la narración puede haber espacios vacíos. Tampoco puede haber discontinuidades. Si el rompecabezas representa una escena pastoril, las piernas de un hombre no pueden estar unidas al cuerpo de una oveja. En la narración, un monarca tirano no puede transformarse de la noche a la mañana en déspota benevolente. Para el historiador hay otras reglas que no se aplican al niño. Por ejemplo, ninguno de los elementos de la narración puede violentar los hechos que el historiador ha preferido omitir de su historia. Además, la historia debe conformarse a las leyes de la naturaleza y la sociedad que el historiador conoce. La violación de reglas como éstas da lugar a rechazar tanto el rompecabezas armado como la narración del historiador.

Tales reglas, sin embargo, solamente limitan, pero no determinan, el resultado del juego del niño o de la tarea del historiador. En ambos casos, el criterio básico para determinar que se ha realizado correctamente el trabajo consiste en el reconocimiento primordial de que las piezas encajan de manera que configuran un producto conocido, aunque no visto antes. El niño ha visto antes fotografías semejantes a ésta, mientras que el historiador ha contemplado similares pautas de conducta. Creo que ese reconocimiento de la similitud es previo a cual-

quier respuesta sobre la clase de similitud lograda. Aunque pueda entenderse racionalmente y hasta ser manejada mediante una computadora —ya una vez traté de hacerlo—, la relación de similitud no se presta para reformularla a manera de ley. Es global, no reductible a un conjunto único de criterios previos más elementales que la propia relación de similitud. No puede remplazarse con una proposición de la forma "*A* es similar a *B*, si, y solamente si, ambas comparten las características *c*, *d*, *e* y *f* ". Ya demostré en otra ocasión que el contenido cognoscitivo de las ciencias físicas es una parte dependiente de la misma y primitiva relación de similitud entre ejemplos concretos, o paradigmas, de trabajos científicos que han tenido éxito, que los científicos modelan una solución para un problema basada en otra solución, sin saber qué características del original deben conservarse para legitimar el proceso. Lo que estoy sugiriendo aquí es que en la historia esa oscura relación global lleva prácticamente toda la carga del hecho conector. Si la historia es explicativa, ello no se debe a que sus narraciones estén apoyadas por leyes generales. Se debe más bien a que el lector dice "Ahora ya sé lo que ocurrió", mientras simultáneamente afirma "Ahora esto tiene sentido; ahora entiendo; lo que antes fue para mí una mera lista de hechos ahora se ha convertido en una pauta reconocible". Exhorto a que se tome en serio la experiencia que comunica el lector.

Desde luego, lo descrito aquí es la primera etapa de un programa para reflexión y la investigación filosófica, pero todavía no la solución de un problema. Si muchos de ustedes difieren conmigo acerca del resultado probable, esto no se debe a que ustedes se hallen más conscientes que yo de que es algo incompleto y difícil, sino a que ustedes están menos convencidos de que la ocasión demande un rompimiento tan radical con la tradición. No voy a discutir esto ahora. El objeto de la digresión de la que ahora retorno ha sido el de identificar mis convicciones, no el de defenderlas. Lo que me perturba acerca del modelo de ley encubierta es que hace del historiador un científico social frustrado, y los huecos de su tarea quedan llenos por un surtido de detalles factuales. Se hace difícil reconocer que su tarea es otra y muy profunda; que la comprensión histórica tiene autonomía —e integridad—. Si esta afirmación parece ahora al menos remotamente plausible, prepara entonces el camino para llegar a mi conclusión principal. Cuando el historiador de la ciencia surge de la contemplación de las fuentes y de la construcción de una narración, puede tener entonces el derecho a proclamar que está familiarizado con los puntos

esenciales. Si dice luego "No puedo construir una narración viable sin concederle un lugar central a esos aspectos de la ciencia que los filósofos pasan por alto, como tampoco puedo hallar huellas de elementos que ellos consideran esenciales", entonces merece que se le oiga. Lo que está diciendo es que la empresa reconstruida por el filósofo no es la ciencia, en cuanto a algunos de sus puntos esenciales.

¿Qué lecciones podría aprender el filósofo si tomara más en serio las construcciones narrativas del historiador? Terminaré esta conferencia dando un ejemplo global, refiriéndome a mi trabajo anterior para otras ilustraciones, muchas de ellas dependientes del examen de los casos individuales. La mayor parte del trabajo histórico está relacionada con procesos, con el desarrollo con respecto al tiempo. En principio, el desarrollo y el cambio no tienen por qué desempeñar el mismo papel en la filosofía, pero en la práctica, y ahora quiero insistir, la concepción de una ciencia más bien estática que tiene el filósofo y, así también, de cuestiones como la estructura y la confirmación de la teoría, se modificaría fructíferamente si el desarrollo y el cambio se tomaran en cuenta de otra manera.

Considérese, por ejemplo, la relación entre leyes empíricas y teorías, a las cuales, para sacar mi conclusión, analizaré con algo de amplitud. A pesar de las dificultades reales, que ya recalqué en otra parte, las leyes empíricas concuerdan relativamente bien con la tradición de la filosofía de la ciencia. Desde luego, pueden tratar de demostrarse directamente por medio de la observación o el experimento. Pero, en relación con lo que estoy planteando, cuando surgen llenan un vacío evidente, dando una información de la que antes se carecía. A medida que se desarrolla la ciencia, dichas leyes pueden ser perfeccionadas, pero las versiones originales siguen siendo aproximaciones de las que las han sucedido, y por consiguiente su fuerza sigue siendo obvia o fácil de recuperar. En fin, las leyes, en la medida en que son puramente empíricas, ingresan en la ciencia como adiciones netas al conocimiento y de ahí en adelante nunca son completamente desplazadas. Pueden volverse carentes de interés y, por consiguiente, permanecer sin ser citadas, pero ése es otro asunto. Repito que la argumentación de esta posición envuelve grandes dificultades, pues deja de ser claro en qué momento preciso una ley es puramente empírica. Sin embargo, como idealización admitida, esta explicación ampliamente aceptada de las leyes empíricas encaja bastante bien en la experiencia del historiador.

Con respecto a las teorías, la situación es diferente. La tradición las introduce como conjuntos de leyes. Aunque concede que los elementos de un conjunto dado pueden enfrentarse a la experiencia sólo por las consecuencias deductivas del conjunto en su totalidad, de ahí en adelante las teorías se asimilan a las leyes tan íntimamente como sea posible. Tal asimilación no encaja sencillamente en la experiencia del historiador. Cuando examina una época pasada en particular, puede encontrar vacíos de conocimiento que más tarde serán llenados por leyes empíricas. Los antiguos supieron que el aire era compresible, pero ignoraban la regularidad que relaciona cuantitativamente su volumen y presión. Si se les hubiese preguntado, probablemente habrían aceptado que no lo sabían. Pero el historiador, rara vez, o nunca, encuentra vacíos semejantes que serán llenados por teorías posteriores. En su época, la física aristotélica abarcó el mundo accesible e imaginable tan completamente como lo haría en la suya la física newtoniana. Al introducir esta última, la primera queda literalmente desplazada. Después de ocurrido esto, además, los esfuerzos por revitalizar la teoría aristotélica presentaron dificultades de una naturaleza muy diferente de las necesarias para recuperar una ley empírica. Las teorías, tal como el historiador las conoce, no pueden ser descompuestas en sus elementos constitutivos con la finalidad de compararlos directamente con la naturaleza o unos con otros. Esto no quiere decir que no puedan descomponerse por análisis, pero las partes de leyes que arroja el análisis, a diferencia de las leyes empíricas, no pueden funcionar aisladamente en tales comparaciones.

Uno de los principios de la física aristotélica, por ejemplo, era el de la imposibilidad de que existiera un vacío. Supóngase que un físico moderno le hubiese dicho que una aproximación a un vacío podría producirse ahora en un laboratorio. Quizá Aristóteles le hubiera respondido que un recipiente desprovisto de aire y otros gases no es, en el sentido en que él lo dijo, un vacío. Esa respuesta implicaría que la imposibilidad de un vacío no era, en física, un asunto puramente empírico. Supóngase ahora que Aristóteles hubiese admitido la afirmación del físico moderno y hubiese anunciado que, después de todo, sí podía existir en la naturaleza un vacío. Entonces hubiera requerido de una física totalmente nueva, pues su concepto del cosmos finito, del lugar dentro de él y del movimiento natural quedarían en pie o caerían juntos con su concepto del vacío. En ese mismo sentido, la proposición semejante a ley de que "no hay vacíos en la naturaleza" tampoco funcionó dentro de la física aristotélica como una ley. Esto es, no

podría ser eliminada y remplazada por una versión perfeccionada, dejando en pie el resto de la estructura.

Por consiguiente, para el historiador, o por lo menos para mí, las teorías, en ciertos aspectos esenciales, son holísticas. Es decir, en la medida en que el historiador pueda decir que siempre han existido —aunque no siempre en las formas que cómodamente pueden describirse como científicas—, y han cubierto la gama total de los fenómenos naturales concebibles —aunque a menudo sin mucha precisión—. En este respecto, las teorías se asemejan a las leyes y hay diferencias, que inevitablemente se corresponden, en las formas en que son desarrolladas y evaluadas. Acerca de estos procesos sabemos muy poco, y nuestro conocimiento no avanzará más mientras no aprendamos a reconstruir teorías seleccionadas del pasado. Hoy en día, los que enseñan a hacer ese trabajo son historiadores, no filósofos. No cabe duda que éstos podrían aprender; pero en el proceso, como ya lo sugerí, probablemente se volverían historiadores también. Desde luego, yo les daría la bienvenida, pero me entristecería que en la transición perdieran de vista sus problemas, riesgo que considero real. Para evitar esto, exhorto a que la historia y la filosofía de la ciencia continúen como disciplinas distintas. Hay menos probabilidad de que lo necesario se produzca por matrimonio que por diálogo activo.

II. LOS CONCEPTOS DE CAUSA EN EL DESARROLLO DE LA FÍSICA*

¿CÓMO es que se invita a un historiador de la ciencia a dirigir una charla sobre el desarrollo de las nociones de causa en la física ante un público de psicólogos de la infancia? Quienes primero podrían responder son los familiarizados con las investigaciones de Jean Piaget. Sus agudas investigaciones de temas como las concepciones que los niños tienen del espacio, del tiempo, el movimiento o el propio mundo han revelado repetidas veces sorprendentes paralelos con las concepciones que de estos mismos asuntos han tenido los científicos adultos de la antigüedad. Si en cuanto a la noción de causa hay paralelos semejantes, descubrirlos será de interés tanto para el psicólogo como para el historiador.

Hay, sin embargo, una respuesta más personal, aplicable quizá exclusivamente a este historiador y a este grupo de psicólogos de la infancia. Hace casi veinte años que descubrí, y más o menos al mismo tiempo, tanto el interés intelectual por la historia de la ciencia como los estudios psicológicos de Jean Piaget. Desde entonces, ambas inquietudes han influido recíprocamente tanto en mi mente como en mi trabajo. Parte de lo que sé sobre la forma de interrogar a los científicos que ya han muerto lo aprendí examinando la forma en que Piaget interroga a los niños que estudia. Recuerdo vívidamente cómo se manifestó esa influencia en mi primera reunión con Alexandre Koyré, el hombre que, más que cualquier otro historiador, ha sido mi maestro. Le dije que había yo aprendido a entender la física de Aristóteles gracias a los niños de Piaget. Su respuesta —de que fue la física de Aristóteles la que lo enseñó a entender a los niños de Piaget— no hizo otra cosa que confirmar la impresión que tenía yo sobre la importancia de lo que había aprendido. Incluso en terrenos como los de la causalidad, acerca de la cual quizá no se esté completamente de acuerdo, me siento orgulloso de reconocer las huellas indelebles de la influencia de Piaget.

* Con autorización de *Études d'epistémologie génétique*, 25 (1971): 7-18, en donde apareció como "Les notions de causalité dans le developpement de la physique". *Copyrigth* 1971, Presses Universitaires de France.

Para que el historiador de la física logre analizar la noción de causa debe, creo, reconocer dos aspectos relacionados en los cuales ese concepto difiere de la mayoría de aquellos que está acostumbrado a manejar. Como en otros análisis conceptuales, debe partir del acaecimiento observado de palabras como "causa" y "porque" en la conversación y en las publicaciones de los científicos. Pero estas palabras, a diferencia de las referentes a conceptos como los de posición, movimiento, peso, tiempo, etc., no se presentan regularmente en el discurso científico, y cuando aparecen, éste es de una naturaleza muy especial. Se siente uno tentado a decir, conforme al comentario que por diferentes razones hizo M. Grize, que el término de "causa" funciona primordialmente en el vocabulario metacientífico de los físicos, pero no en su vocabulario científico.

Esa observación no debe sugerir que el concepto de causa sea menos importante que conceptos de uso más corriente como el de posición, fuerza o movimiento. Lo que sí sugiere es que los instrumentos analíticos funcionan de modo diferente en uno y otro caso. Al analizar la noción de causa, el historiador o el filósofo deben ser más perceptivos de lo común a los matices del lenguaje y la conducta. Deben observar no únicamente la presencia de términos como 'causa' sino también las circunstancias especiales en que se producen tales términos. Al mismo tiempo, deben encontrar los aspectos esenciales de sus análisis en la observación de los contextos en que, aunque aparentemente se haya dado una causa, no se presente ningún término que indique cuáles partes de la comunicación total hacen referencia a las causas. Antes de que finalice su tarea, el analista que procede de esta manera probablemente llegue a la conclusión de que, comparado, por ejemplo, con el concepto de posición, el de causa tiene componentes lingüísticos y de psicología de grupo esenciales.

Ese aspecto del análisis de las nociones de causa se relaciona íntimamente con otro, en el cual Piaget ha insistido desde el principio de esta conferencia. Debemos, dice él, considerar el concepto de causa en dos sentidos, el estrecho y el amplio; el concepto estrecho proviene de la noción, egocéntrica al principio, de un agente activo, que empuja o jala, ejerce una fuerza o manifiesta un poder. Está muy cerca del concepto aristotélico de la causa eficiente, noción que tuvo un papel muy importante en la física técnica durante el siglo XVII, cuando se analizaron los problemas de los choques. El concepto amplio es, a primera vista, muy diferente. Piaget lo describe como la noción general de la explicación. Describir la causa o causas de un

acontecimiento es explicar por qué ocurrió. Las causas figuran en las explicaciones que se dan en física, y éstas son por lo general causales. Pero reconocer esto es volver a la subjetividad intrínseca de algunos de los criterios que rigen la noción de causa. Tanto el historiador como el psicólogo están conscientes de que una serie de palabras que constituyó una explicación en cierta etapa del desarrollo de la física, o del niño, sólo puede llevar a una pregunta tras otra. ¿Basta con decir que la manzana cae a la tierra por la atracción gravitacional, o debe explicarse primero la atracción, para que cesen las preguntas? Para que una explicación causal sea eficaz puede ser condición necesaria una estructura deductiva específica, pero ésta no es una condición suficiente. Al analizar la causación, debe uno preguntarse, pues, acerca de las respuestas particulares que, no tratándose de una causa mayor, le pondrán punto final a una cadena regresiva de preguntas causales.

La coexistencia de estos dos sentidos de la causa intensifica también otro de los problemas que nos acabamos de encontrar. Por razones al menos parcialmente históricas, la noción estrecha se toma a veces como fundamental, y se conforma a ella el concepto amplio, a menudo con violencia. Las explicaciones que son de carácter causal en sentido estrecho proporcionan siempre un agente y un paciente, una causa y un efecto subsiguiente. Pero hay otras explicaciones de los fenómenos naturales —en seguida veremos algunas— en las cuales no se presenta como *la causa* ningún acontecimiento o fenómeno anterior, ni tampoco ningún agente activo. No se gana nada —y sí se pierde mucha de la naturalidad lingüística— con declarar que tales explicaciones son no causales: no les falta nada que, de ser agregado, pueda interpretarse como la causa faltante. Tampoco puede declararse que las preguntas son no causales: hechas en otras circunstancias, habrían producido una respuesta causal en sentido estrecho. Si no pueden relacionarse de ninguna manera las explicaciones causales y las no causales de los fenómenos naturales, ello depende de sutilezas que no vienen al caso aquí. Tampoco es útil transformar tales explicaciones, verbal o matemáticamente, en formas que permitan el aislamiento de un estado de cosas anterior, al cual se le llame la causa. Supuestamente, siempre puede realizarse esa transformación —a veces mediante algunas de las ingeniosas técnicas ilustradas en la presentación de mi invitado, Bunge—, pero el resultado suele ser el de privar de fuerza explicativa a la expresión transformada.

Resumiendo las cuatro etapas principales de la evolución de las nociones causales de física, se documentará y profundizará lo dicho hasta ahora. Al mismo tiempo, se preparará el camino para extraer unas cuantas conclusiones generales. Aproximadamente hasta 1600, la principal tradición dentro de la física fue aristotélica, y fue predominante el análisis de la causa dentro de esta corriente. Éste, sin embargo, continuó en uso mucho tiempo después de que la primera fue descartada y, por consiguiente, merece que al principio se le examine por separado. De acuerdo con Aristóteles, todo cambio, incluido el de comenzar a ser, tiene cuatro causas: material, eficiente, formal y final. Éstos son los únicos tipos de respuesta que pueden darse cuando se pide una explicación de cambio. En el caso de una estatua, por ejemplo, la causa material de su existencia es el mármol; su causa eficiente es la fuerza ejercida sobre ese material por las herramientas del escultor; su causa formal es la forma idealizada del objeto terminado, presente desde el principio en la mente del escultor; y la causa final es el aumento del número de objetos bellos accesibles a los miembros de la sociedad griega.

En principio, todo cambio posee las cuatro causas, una de cada tipo, pero en la práctica la clase de causa a la que se recurre para una buena explicación varía grandemente de un campo a otro. Al considerar la ciencia de la física, los aristotélicos no hacen uso más que de dos causas, la formal y la final, y éstas por lo regular confundidas en una sola. Los cambios violentos, que alteran el orden natural del cosmos, fueron atribuidos naturalmente a las causas eficientes, a compresiones y tracciones, pero no se pensó que los cambios de esta clase pudieran explicarse más a fondo y, por ello, permanecieron fuera de la física. Se trató ese asunto únicamente con respecto a la restauración y al mantenimiento del orden natural, y una y otro dependían solamente de las causas formales. Por tanto, las piedras caen al centro del universo porque su naturaleza o su forma quedarían realizadas enteramente sólo en esa posición; el fuego surge a la periferia por la misma razón; y la sustancia celeste realiza su naturaleza volviendo regular y eternamente a un mismo lugar.

En el siglo XVII, las explicaciones de esta clase comenzaron a parecer llenas de imperfecciones lógicas, meros juegos verbales, tautologías; y hasta la fecha se les sigue juzgando de la misma manera. El doctor de Molière, ridiculizado por explicar la acción hipnótica del opio refiriéndose a su "potencia dormitiva", sigue siendo hasta la fecha un chiste de cajón. En el siglo XVII hubo la ocasión para mostrar la eficacia de tal

forma de ridiculizar. No hay, sin embargo, defectos lógicos en explicaciones de este tipo. Mientras la gente fue capaz de explicar —como lo fueron los aristotélicos— una gama relativamente amplia de fenómenos naturales en función de un número relativamente pequeño de formas, las explicaciones en función de la forma fueron enteramente satisfactorias. Comenzaron a aparecer tautologías sólo cuando cada uno de los fenómenos pareció necesitar la invención de una forma especial. Explicaciones exactamente iguales a las descritas se evidencian de inmediato todavía en la mayoría de las ciencias sociales. Si resultan menos eficaces de lo que se desea, la dificultad no reside en su lógica sino en las formas particulares desplegadas. Me atrevo a sugerir que la explicación formal funciona ahora con extraordinaria eficacia en física.

En los siglos XVII y XVIII, sin embargo, su papel fue mínimo. Después de Galileo y Kepler, quienes a menudo señalaron regularidades matemáticas simples como causas formales que no exigían análisis ulterior, fue necesario que todas las explicaciones fuesen mecánicas. Las únicas formas admisibles fueron las configuraciones y posiciones de los corpúsculos últimos de la materia. Todo cambio, fuese de posición o de alguna cualidad como el color o la temperatura, se entendió como resultado del impacto físico de un conjunto de partículas sobre otro. Descartes explicó así el peso de los cuerpos como resultante del impacto sobre su superficie superior de partículas del éter adyacente. Las causas eficientes de Aristóteles, empujes y tracciones, dominaron ahora la explicación del cambio. Aun el trabajo de Newton, que fue interpretado ampliamente como interacciones no mecánicas y libres entre partículas, hizo poco por reducir el dominio de la causa eficiente. Lo hizo, desde luego, con el mecanismo estricto, pero fue atacado por quienes vieron en la introducción de la acción a distancia una violación regresiva de las normas de explicación prevalecientes. (Tenían razón. Los científicos del siglo XVIII pudieron haber introducido una fuerza nueva para cada clase de fenómeno. Unos cuantos comenzaron a hacerlo así.) Pero las fuerzas newtonianas fueron tratadas generalmente en analogía con las fuerzas de contacto, y siguió predominando la explicación mecánica. Particularmente en las partes nuevas de la física —la electricidad, el magnetismo, el estudio del calor—, durante todo el siglo XVIII las explicaciones se hicieron principalmente en función de causas.

Pero, durante el siglo XIX, un cambio que ya había comenzado a darse en la mecánica se difundió gradualmente por todo el terreno de la física. A medida que ésta se comenzó a volver cada vez más matemá-

tica, la explicación comenzó a depender crecientemente de la exhibición de formas convenientes y de la derivación de sus consecuencias. En estructura, aunque no en sustancia, la explicación volvió a ser la de la física aristotélica. Al pedírsele que explicara un determinado fenómeno natural, el físico escribiría la adecuada ecuación diferencial y deduciría de ella, quizá estableciendo condiciones de frontera específicas, el fenómeno en cuestión. Es cierto que se le podría haber retado a que justificara su elección de las ecuaciones diferenciales. Pero ese reto habría estado dirigido a esa formulación en particular, no al tipo de explicación. Independientemente de lo correcto de su elección, ésta recaía siempre en una ecuación diferencial, forma que proporcionaba la explicación de lo que ocurría. Y, como explicación, la ecuación ya no podría seguir siendo dividida en partes. Sin distorsionarla gravemente, no podía derivarse de ésta ningún agente activo ni causa aislada alguna que precediera al efecto.

Considérese, por ejemplo, la cuestión de por qué Marte se mueve en una órbita elíptica. En la respuesta aparecen las leyes de Newton aplicadas a un sistema aislado de dos cuerpos que interactúan con una atracción inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Cada uno de estos elementos es esencial para la explicación, pero ninguno, la causa del fenómeno. Tampoco son previos en lugar de simultáneos o posteriores al fenómeno por explicar. Considérese la cuestión más limitada de por qué Marte ocupa en el cielo una posición determinada en un momento determinado. La respuesta se obtiene de la precedente introduciendo en la solución de la ecuación la posición y la velocidad de Marte en algún momento anterior. Estas condiciones de frontera sí describen un acontecimiento anterior conectado por deducción de leyes con el que se ha de explicar. Pero sería erróneo llamarle a ese acontecimiento anterior —que puede ser sustituido por una infinidad de otros— la causa de la posición de Marte en el momento posterior especificado. Si las condiciones de frontera suministran la causa, entonces las causas dejan de ser explicativas.

Estos dos ejemplos son también reveladores en otro aspecto. Son respuestas a preguntas que no serían hechas, al menos de un físico a otro. Lo que se mostró como respuestas párrafos arriba se describiría más realistamente como soluciones a problemas que el físico podría plantearse a sí mismo o a sus estudiantes. Si a esto le llamamos explicaciones es porque, una vez presentado y entendido, ya no hay más preguntas que hacer: todo lo que el físico puede proporcionar como explicación ya lo ha dado. Hay, sin embargo, otros contextos en

que pueden hacerse preguntas por el estilo; y en tales contextos la estructura de la respuesta sería diferente. Supóngase que la órbita observada de Marte no fuese elíptica o que su posición en un momento dado no fuese la predicha por la solución al problema newtoniano de los dos cuerpos, con condiciones de frontera dadas. Entonces el físico sí se preguntaría —o lo habría hecho antes de que estuviesen bien entendidos esos fenómenos— qué es lo que andaba mal, por qué la experiencia se apartaba de sus expectativas. Y la respuesta, en este caso, sí aísla una causa específica: la atracción gravitacional de otro planeta. A diferencia de las regularidades, las anomalías sí pueden explicarse en términos que son causales en sentido estrecho. Vuelve a sorprendernos la semejanza de esto con la física aristotélica. Las causas formales explican el orden de la naturaleza; las eficientes, el apartamiento de ese orden. Ahora, sin embargo, tanto la irregularidad como la regularidad están en el terreno de la física.

Esos ejemplos tomados de la mecánica celeste tienen su equivalente en otras partes de la mecánica y también en la acústica, la electricidad, la óptica o la termodinámica, campos que se desarrollaron a fines del siglo XVIII y principios del XIX. Pero el punto ya debe estar claro. Lo que necesita recalcarse todavía es que la semejanza de las explicaciones aristotélicas con las explicaciones correspondientes a los campos citados es únicamente estructural. Las formas que adoptaron las explicaciones en física, durante el siglo XIX, no fueron por el estilo de las aristotélicas sino más bien versiones matemáticas de las formas cartesiana y newtoniana, que habían predominado en los siglos XVII y XVIII. Esta restricción a las formas mecánicas no duró, sin embargo, más allá de los últimos años del siglo XIX. Luego, con la aceptación de las ecuaciones de Maxwell para el campo electromagnético y con el reconocimiento de que esas ecuaciones no podían derivarse de la estructura de un éter mecánico, comenzó a incrementarse la lista de formas que la física emplearía en sus explicaciones.

Lo que ha resultado en el siglo XX es una revolución más dentro del campo de la explicación física, esta vez no en su estructura sino en su sustancia. Mi invitado, Halbwachs, ha señalado muchos de sus detalles. Aquí me limitaré a hacer unas cuantas generalizaciones. El campo electromagnético, como entidad física no mecánica y fundamental, con propiedades formales que sólo pueden describirse por medio de ecuaciones matemáticas, fue apenas el punto de ingreso del concepto de campo dentro de la física. Los físicos contemporáneos reconocen también otros campos, y el número de éstos sigue cre-

ciendo. Se emplean, en su mayoría, para explicar fenómenos no reconocidos todavía en el siglo XIX; pero poseen también, por ejemplo en electromagnetismo, fuerzas desplazadas en algunas áreas antes reservadas a ellos. Como en el siglo XVII, lo que antes fue una explicación ahora ya no lo es. Tampoco son únicamente los campos, nueva clase de entidad, los que están envueltos en el cambio. La materia ha adquirido también propiedades formales inimaginables desde el punto de vista mecánico —el espín, la paridad, la extrañeza, etc.—, cada una de ellas descriptible únicamente en términos matemáticos. Finalmente la aparición de un elemento probabilístico al parecer inerradicable en la física ha producido otro cambio radical en los caminos de la explicación. Hay ahora cuestiones bien configuradas sobre los fenómenos observables, por ejemplo, el momento en que una partícula alpha abandona un núcleo, que los físicos declaran, en principio, problema no solucionable por la ciencia. Como acontecimientos aislados, la emisión de partículas alpha, así como muchos otros fenómenos parecidos, carecen de causa. Toda teoría que tratara de explicarlos echaría abajo la teoría cuántica, en lugar de simplemente sumarse a ésta. Probablemente por alguna transformación futura de la teoría física se cambiará esta concepción o bien será imposible plantear esas cuestiones. Pero, de momento, pocos físicos son los que consideran la brecha causal como una imperfección. Este hecho puede enseñarnos también algo sobre la explicación causal.

¿Qué conclusión puede sacarse de esta breve exposición? A manera de resumen ofrezco lo siguiente. Si bien el concepto estrecho de causa fue parte vital de la física de los siglos XVII y XVIII, su importancia declinó en el siglo XIX y prácticamente se desvaneció en el siglo XX. Las excepciones principales son explicaciones de acontecimientos que parecen violar las teorías físicas prevalecientes, cosa que en realidad no es así. Éstos se explican aislando la causa particular de la anomalía, esto es, encontrando el elemento no tomado en cuenta en la solución inicial del problema. Pero, salvo en estos casos, la estructura de la explicación física se asemeja estrechamente a la ideada por Aristóteles para analizar las causas formales. Los efectos se deducen de unas cuantas propiedades, connaturales y específicas, de las entidades a las que se refiere la explicación. La posición lógica relativa de esas propiedades y de las explicaciones deducidas de ellas es la misma que la de las formas aristotélicas. La causa, en física, ha vuelto a ser la causa en el sentido amplio, es decir, una explicación.

Sin embargo, si la física moderna se asemeja a la aristotélica en la estructura causal de sus argumentos, las formas particulares que figuran en la explicación física son hoy en día radicalmente diferentes de las que corresponden a la física de la antigüedad y de la Edad Media. Incluso en la breve exposición hecha en los párrafos anteriores hemos observado dos transiciones principales en los tipos de formas que podrían funcionar satisfactoriamente en la explicación física: de las formas cualitativas —gravedad o levedad connaturales— a formas mecánicas y luego de éstas a formas matemáticas. En una descripción más detallada se habrían descubierto muchas otras transiciones más sutiles. Sin embargo, las transiciones de esta clase plantean una serie de interrogantes que exigen comentario, aun cuando éste sea breve y dogmático. ¿Qué importancia tienen? ¿Y cuál es la relación de los modos de explicación antiguos con respecto a los nuevos?

Con respecto a la primera de estas interrogantes, sugiero que, en física, los cánones de explicación nuevos nacen con las nuevas teorías, de las cuales son, en gran medida, una especie de parásitos. Las nuevas teorías físicas, como la de Newton, han sido rechazadas repetidamente por hombres que, aunque admiten la capacidad de la nueva concepción para resolver problemas antes inatacables, han insistido sin embargo en que no se ha explicado nada. Las generaciones posteriores, acostumbradas al uso de la teoría nueva por sus ventajas, por lo general la han encontrado útil desde el punto de vista explicativo. El éxito pragmático de una teoría científica parece garantizar el éxito último de su modo explicativo asociado. La fuerza explicativa, sin embargo, puede demorar mucho tiempo en llegar. La experiencia de muchos contemporáneos con la mecánica cuántica y la relatividad sugiere que uno puede creer en una nueva teoría con profunda convicción y seguir careciendo de la reducación y habituación para recibirla como explicativa. Eso viene únicamente con el tiempo, pero hasta la fecha siempre ha llegado.

Que sean parasitarios o accesorios de las teorías nuevas no hace que los modos de explicación nuevos carezcan de importancia. El impulso de los físicos a entender y explicar la naturaleza es una condición esencial de su trabajo. Los cánones de explicación aceptados sirven para indicarles qué problemas no se han resuelto todavía, qué fenómenos permanecen sin explicación. Además, cualesquiera que sean los problemas en que un científico se encuentre trabajando, los cánones de explicación admitidos condicionan en parte las clases de soluciones a las cuales será capaz de llegar. No es posible entender la

ciencia de un periodo histórico determinado, sin haberse adentrado en los cánones de explicación aceptados por los científicos de tal época.

Por último, habiendo bosquejado cuatro etapas del desarrollo de las nociones causales en la física, me pregunto si en la sucesión de éstas puede observarse una pauta general. ¿Hay alguna forma en que los cánones explicativos de la física moderna sean más avanzados que los de, digamos, el siglo XVIII, y en que los del siglo XVIII trascendieron a los de la antigüedad y la Edad Media? En cierto sentido, la respuesta es claramente sí. Las teorías físicas de cada uno de estos periodos fueron mucho más poderosas y precisas que las de sus predecesores. Los cánones explicativos, al estar asociados íntegramente con las propias teorías físicas, deben de haber participado necesariamente del avance: el desarrollo de la ciencia permite la explicación de fenómenos siempre más intrincados. Pero son únicamente los fenómenos, y no las explicaciones, los más intrincados. Abstraída de la teoría dentro de la cual funciona, la gravedad es tan sólo diferente de una tendencia connatural hacia el centro, el concepto de campo es meramente diferente del de fuerza. Considerados exclusivamente como mecanismos explicativos, sin referencia a las teorías que recurren a ellos, los puntos de partida permisibles para la explicación física no parecen intrínsecamente más avanzados en las últimas épocas que en las primeras. Hay todavía un aspecto en que las revoluciones de los modos de explicación pueden ser regresivos. Aunque las pruebas están lejos de ser conclusivas, sugieren que, conforme se desarrolla la ciencia, emplea en explicaciones un número siempre creciente de formas distintas e irreductibles. Con respecto a la explicación, la simplicidad de la ciencia puede haber disminuido con el tiempo histórico. Para examinar esta tesis haría falta otro ensayo, pero aun la posibilidad de considerarlo sugiere una conclusión que será suficiente aquí. Estudiadas en sí, las ideas de explicación y de causa no dan muestras obvias de este progreso del intelecto que tan claramente despliega la ciencia de la cual provienen.

III. LA TRADICIÓN MATEMÁTICA Y LA TRADICIÓN EXPERIMENTAL EN EL DESARROLLO DE LA FÍSICA*

SIEMPRE que se estudie la historia del desarrollo científico habrá de encontrarse repetidas veces, y en una u otra forma, la cuestión de si las ciencias son una sola o son muchas. Ordinariamente, se presenta esta pregunta por problemas concretos de organización de la narración, y tales problemas se agudizan especialmente cuando se le pide al historiador de la ciencia que describa su tema en conferencias o en un libro de gran envergadura. ¿Debe abordar las ciencias una por una, comenzando, por ejemplo, con las matemáticas, siguiendo con la astronomía, luego con la física, la química, la anatomía, la fisiología, la botánica, etc.? ¿O debe rechazar la idea de que su objeto sea una descripción compuesta de los campos individuales para hablar entonces del mero conocimiento de la naturaleza? Si éste es el caso, estará obligado, en la medida de lo posible, a considerar conjuntamente todos los campos de la ciencia, a examinar lo que los hombres supieron sobre la naturaleza en cada época, y a descubrir la forma en que los cambios de método, de clima filosófico o de la sociedad en su conjunto afectaron el cuerpo del conocimiento científico concebido como uno solo.

Dada una descripción más detallada, ambos enfoques pueden reconocerse como modos historiográficos tradicionales y en general poco

* Reimpreso con autorización de *The Journal of Interdisciplinary History, 7(1976): 1-31. Copyright 1976,* del Massachusetts Institute of Technology y los redactores del *Journal of Interdisciplinary History.*

Este ensayo es la versión, revisada y ampliada, de una conferencia George Sarton Memorial, dada en Washington, D.C., en 1972, en una reunión conjunta de la American Association for the Advancement of Science y de la History of Science Society. Se leyó una versión preliminar en la Universidad de Cornell, un mes antes. En los tres años transcurridos desde entonces, he aprovechado comentarios de colegas, demasiado numerosos para nombrarlos. Expreso parte de mi agradecimiento en algunas de la notas al pie que siguen. Aquí, me limito a dar las gracias por el aliento y las ideas que me dieron, durante la revisión, dos historiadores cuyos intereses coinciden en parte con los míos: Theodore Rabb y Quentin Skinner. La versión resultante se publicó en francés en *Annales*, 30 (1975): 975-998. En la versión en inglés, se introdujeron algunos otros cambios menores.

comunicativos.[1] El primero, que lo más que hace es tratar la ciencia como un paquete de distintas ciencias, se caracteriza también por la insistencia de sus partidarios en examinar muy de cerca el contenido técnico, tanto experimental como teórico, de versiones pasadas de la especialidad que se encuentren considerando. Esto es de gran mérito, pues las ciencias son técnicas y una historia que descuide el contenido de ellas frecuentemente está entregándose a otra empresa, a veces fabricada sólo para la ocasión. Por otra parte, los historiadores que se dedican a escribir la historia de una especialidad técnica le confieren de ordinario a su tema las fronteras prescritas en los libros de texto más recientes del campo que corresponda. Si, por ejemplo, su tema es la electricidad, entonces la definición que dan de un efecto eléctrico suele asemejarse a la que da la física moderna. Con tal definición, pueden explorar las fuentes antiguas, medievales y de la época moderna para hallar las referencias adecuadas, de lo cual resulta un registro impresionante de conocimientos por la naturaleza que se acumulan gradualmente. Pero ese registro se extrae de libros y manuscritos dispersos, de los que comúnmente se describen como trabajos sobre filosofía, literatura, historia, textos religiosos o mitología. Las narraciones de este género oscurecen siempre el hecho de que la mayoría de los temas que agrupan dentro del campo de la "electricidad" —por ejemplo, el relámpago, los fenómenos relativos a la frotación del ámbar y el pez torpedo— no se consideraban relacionados durante la época en que se describieron por primera vez. Pueden leerse cuidadosamente estos trabajos sin descubrir que los fenómenos

[1] Para un análisis un poco más amplio de estos dos enfoques, véase Kuhn, "History of Science", en la *International Encyclopedia of the Social Sciences*, vol. 14 (Nueva York, 1968), pp. 74-83. Nótese también la forma en que, al distinguirlos uno del otro, tanto se profundiza como se oscurece la distinción, mucho más conocida ahora, entre los enfoques internalista y externalista a la historia de la ciencia. Virtualmente todos los autores considerados ahora internalistas trabajan sobre la evolución de una sola ciencia o sobre un conjunto de ideas científicas estrechamente relacionadas; los externalistas partenecen, casi invariablemente, al grupo que maneja las ciencias como si fueran una sola. Pero las etiquetas de "internalista" y "externalista" no son nada exactas. Los que trabajan principalmente sobre ciencias aisladas, por ejemplo, Alexandre Koyré, no dudan en atribuirle un papel importante a las *ideas* extracientíficas en el desarrollo de la ciencia. A lo que más se han resistido es a tomar en cuenta factores socioeconómicos e institucionales, de la manera como lo hacen autores como B. Hessen, G. N. Clark y R. K. Merton. Pero quienes consideran las ciencias como una sola no valoran en mucho esos factores no intelectuales. Por eso, el debate "internalista-externalista" se da frecuentemente sobre problemas diferentes de los que el nombre sugiere, y por eso mismo es tan grave a veces la confusión resultante.

que ahora se llaman "eléctricos" hayan constituido un tema de estudio en particular antes del siglo XVII y sin el menor indicio de la forma en que llegaron a configurar un campo determinado de la ciencia. Cuando el historiador estudia trabajos que ya existían en los periodos de los que se ocupa, entonces los relatos tradicionales del desarrollo de cada una de las ciencias a menudo son profundamente ahistóricos. A la otra gran tradición historiográfica, la que trata a la ciencia como una sola empresa, no puede dirigirse una crítica semejante. Incluso si la atención se restringe a un siglo o a una nación seleccionados, el tema de ese trabajo "putativo" resulta tan vasto, tan dependiente de los detalles técnicos y, en conjunto, demasiado difuso como para ser iluminado por el análisis histórico. A pesar de las reverencias ceremoniales a los clásicos como los *Principios* de Newton o al *Origen de las especies* de Darwin, los historiadores que consideran a la ciencia como una sola le prestan poca atención, por consiguiente, a su evolución, concentrándose en lugar de ello sobre la cambiante matriz intelectual, ideológica e institucional dentro de la cual se desarrolla la ciencia. El contenido técnico de los libros de texto contemporáneos es, pues, improcedente para su tema, y especialmente en las últimas décadas los trabajos que producen son completamente históricos y a veces muy reveladores. El desarrollo de las instituciones científicas, los valores, los métodos y las concepciones del mundo resulta ser un valioso tema para la investigación histórica. Pero la experiencia sugiere que de ninguna manera está tan relacionado con el estudio del desarrollo científico como sus partidarios lo suponen de ordinario. La relación entre el ambiente metacientífico, por una parte, y el desarrollo de teorías y experimentos científicos determinados, por otra, ha resultado ser indirecta, oscura y causante de controversias.

Para entender esa relación, la tradición que hace de la ciencia una sola no puede, en principio, aportar nada, pues impide *por presuposición* el acceso a los fenómenos de los cuales debe depender el desarrollo de esta comprensión. Los cometidos sociales y filosóficos que fomentaron el desarrollo de un campo determinado en un periodo en particular a veces lo obstaculizaron en otro periodo; si se especifica el lapso en estudio, entonces las condiciones que fomentaron el avance de una ciencia a menudo parecen haber sido hostiles para otras.[2] En estas circunstancias, los historiadores que desean iluminar el desarrollo científico real tienen que detenerse en un difícil terreno intermedio

[2] Sobre este punto, además del material indicado antes, véase Kuhn, "Scientific Growth: Reflections on Ben-David's 'Scientific Role' ", *Minerva*, 10 (1972): 166-178.

entre las dos opciones tradicionales. Esto es, no pueden suponer que la ciencia sea una sola, pues claramente no lo es. Pero tampoco pueden dar por sentadas las subdivisiones de la materia de estudio comprendidas en los textos de ciencia contemporáneos y en la organización de los departamentos de las universidades de la actualidad.

Los libros de texto y la organización institucional son índices útiles de las divisiones naturales que el historiador debe buscar, pero deben ser los correspondientes al periodo que estudia. Aunados a otros materiales, aquellos pueden proporcionar al menos una lista preliminar de los diversos campos de la práctica científica en una época dada. Pero la obtención de tal lista no es otra cosa que el comienzo de la tarea del historiador, pues también necesita saber algo acerca de las relaciones entre las áreas de actividad a las que nombra, preguntándose, digamos, por el grado de interacción existente entre ellas y la facilidad con que sus profesionales podían pasar de una a otra. Las investigaciones de esta suerte pueden ir suministrando poco a poco un esquema de la compleja estructura de la empresa científica en una época seleccionada, y tal esquema es indispensable para examinar los complejos efectos de los factores metacientíficos, sean sociales o intelectuales, sobre el desarrollo de las ciencias. Pero no basta con un solo mapa estructural. En la medida en que los efectos por estudiar varían de un campo a otro, el historiador que pretende entenderlos debe explorar también, por lo menos, partes representativas de las actividades técnicas, a veces recónditas, dentro del campo o campos que ha elegido explorar. Tanto en la historia como en la psicología de la ciencia, es extremadamente corta la lista de asuntos que pueden estudiarse provechosamente sin atender al contenido de las ciencias pertinentes.

La investigación histórica de esta naturaleza apenas se ha iniciado. Estoy convencido de lo provechoso que será continuarla; y tal convicción proviene no de los trabajos nuevos, míos o de otros, sino de intentos repetidos que como profesor he realizado para sintetizar los productos, aparentemente incompatibles, de las dos tradiciones incomunicadas que acabo de describir.[3] Inevitablemente, todos los re-

[3] Estos problemas de síntesis se remontan a los inicios de mi carrera, época en la que tuvieron dos formas que, en un principio, parecieron completamente distintas. La primera, bosquejada en la nota 2, fue la manera de correlacionar intereses relativos al dominio de lo socioeconómico con las relaciones acerca del desarrollo de las ideas científicas. La segunda, esclarecida gracias a la aparición de la admirable obra de Herbert Butterfield, *Origins of Modern Science* (Londres, 1949), se refirió al papel del método experimental en la Revolución científica del siglo XVII. Los primeros cuatro

sultados de esa síntesis son provisionales, parciales, chocan regularmente con los límites de la escuela establecida y a menudo los rebasan. Sin embargo, la presentación esquemática de un conjunto de esos resultados puede servir tanto para ilustrar lo que pienso cuando hablo de las divisiones naturales y cambiantes entre las ciencias como para indicar las ganancias que pueden obtenerse concediéndoles más atención. Una consecuencia de una versión más desarrollada de la posición que examinaré más adelante podría consistir en una reformulación fundamental de un debate ya viejo acerca de los orígenes de la ciencia moderna. Otra consecuencia sería la del aislamiento de una novedad importante que, durante el siglo XIX, ayudó a producir la disciplina que hoy llamamos física moderna.

LAS CIENCIAS FÍSICAS CLÁSICAS

Introduciré mi tema principal con una pregunta. Entre el gran número de materias que abarcan ahora las ciencias físicas, ¿cuáles fueron ya en la antigüedad focos de actividad continua de parte de especialistas? La lista es muy corta. La astronomía es su componente más antiguo y más desarrollado; durante la época helenística, cuando la investigación en ese campo avanzó hasta alcanzar un nivel sin precedentes, se le unió otro par, la óptica geométrica y la estática, incluida la hidrostática. Estas tres materias —la astronomía, la estática y la óptica— son tan sólo partes de la ciencia física, que, durante la antigüedad, convirtió los objetos de investigación en tradiciones caracterizadas por vocabularios y técnicas inaccesibles al lego y también por conjuntos de literatura dirigida exclusivamente a los profesionales. Incluso hoy en día, *De los cuerpos flotantes*, de Arquímedes, y el *Almagesto* de Tolomeo, únicamente pueden ser leídos por quienes poseen cierta experiencia

capítulos del libro de Butterfield explicaban plausiblemente las principales transformaciones conceptuales de la ciencia moderna en sus comienzos, como "producidas, en primera instancia, no por observaciones ni pruebas nuevas, sino por transposiciones que fueron introduciéndose en las mentes de los propios científicos. . . [porque ellos] se pusieron otra clase de gorra de pensar" (p. 1). En los dos capítulos siguientes, "El método experimental en el siglo XVII" y "Bacon y Descartes", las explicaciones eran más tradicionales. Aunque parecía venir muy al caso del desarrollo científico, los capítulos que trataban estos dos últimos temas contenían muy poco material que fuese aplicado en otras partes del libro. Más tarde reconocí que una de las razones de que esto hubiese sido así consistió en que Butterfield intentó —especialmente en su capítulo "La aplazada revolución científica en la química"— asimilar las transformaciones ocurridas en la ciencia del siglo XVIII al mismo modelo —no observaciones nuevas sino una nueva "gorra de pensar"— que tanto éxito había tenido al ser aplicado al siglo XVII.

técnica. Otros asuntos que, como el calor y la electricidad, fueron los últimos en incorporarse a las ciencias físicas, permanecieron durante toda la antigüedad como simples clases interesantes de fenómenos, temas dignos de ser mencionados u objetos de especulación y debate filosóficos. (En particular, los efectos eléctricos quedaron dispersos entre varias de esas clases.) La restricción a iniciados no garantiza, por supuesto, el avance científico, pero los tres campos mencionados sí progresaron de manera que exigieron conocimientos esotéricos y técnicas indispensables para delimitarlos. Si, además, la acumulación de soluciones concretas y en apariencia permanentes es una medida del progreso científico, estos campos son las únicas partes de lo que serían las ciencias físicas en las cuales se hicieron progresos indudables durante la antigüedad.

Sin embargo, en esa época, no se practicaron exclusivamente esas disciplinas sino íntimamente asociadas con otras dos, las matemáticas y la armonía,[4] que en la actualidad no se consideran ya parte de la física. De ese par, las matemáticas eran aún más antiguas y estaban más desarrolladas que la astronomía. Dominadas por la geometría desde el siglo V a. c., las matemáticas fueron conceptuadas como la ciencia de las cantidades físicas reales, en particular las espaciales, y fue mucho lo que hicieron por determinar el carácter de las otras cuatro arracimadas en torno de aquéllas. La astronomía y la armonía trataron de posiciones y proporciones, respectivamente, y por ello fueron literalmente matemáticas. La estática y la óptica geométrica extrajeron conceptos, diagramas y vocabulario técnico de la geometría

[4] En un principio, Henry Guerlac me suscitó la necesidad de incluir la teoría de la música en el conjunto de las ciencias clásicas. Y el hecho de que hubiese yo omitido, desde el principio, un campo antes no considerado como ciencia indica lo fácil que es hacer a un lado la fuerza de un precepto metodológico enunciado desde mis primeras páginas. La armonía no era entonces, sin embargo, el campo al que ahora podríamos llamarle teoría de la música. En lugar de ello, era una ciencia matemática que atribuía proporciones numéricas a los numerosos intervalos de las diversas escalas o modos griegos. Como había siete de éstos, cada uno existente en tres géneros y quince tonos o claves, la disciplina era compleja, y la especificación de algunos intervalos requería números de cuatro y cinco cifras. Su relación con la práctica musical fue cuando mucho indirecta, y sigue siendo oscura. Históricamente, la armonía data del siglo V a.c., y hacia la época de Platón y Aristóreles ya estaba muy desarrollada. Euclides está entre las numerosas figuras que escribieron tratados acerca de ella; gran parte de su obra fue sustituida por la de Tolomeo, fenómeno familiar también en otros campos. Por estos comentarios descriptivos, y también por los de la nota 8, le estoy muy agradecido a Noel Swerdlow y sus esclarecedoras conversaciones. Antes de ellas, no habría sido capaz de seguir el consejo de Guerlac.

y compartieron con ésta su estructura lógico deductiva, tanto en la exposición como en la investigación. No es de sorprenderse que, en estas circunstancias, hombres como Euclides, Arquímedes y Tolomeo, quienes hicieron aportaciones a esas disciplinas, hayan contribuido significativamente también a las otras. Las cinco disciplinas constituyeron, pues, un conglomerado natural, separándose de otras especialidades antiguas y muy evolucionadas como la anatomía y la fisiología. Practicadas por un solo grupo y compartiendo una misma tradición matemática, la astronomía, la armonía, las matemáticas, la óptica y la estática fueron agrupadas aquí como las ciencias físicas clásicas o, sencillamente, como las ciencias clásicas.[5] En realidad, incluso el hecho de enumerarlas como disciplinas distintas es hasta cierto punto anacrónico. Los datos que se expondrán más adelante sugieren que, conforme a ciertos puntos de vista significativos, todas ellas podrían englobarse en un solo campo, el de las matemáticas.

Para la unidad de las ciencias clásicas fue indispensable otra característica compartida, la cual tendrá un papel importante al llegar al balance final de este artículo. Aunque los cinco campos mencionados, incluido el de las matemáticas antiguas, fueron empíricos en lugar de *a priori,* el considerable desarrollo que ya tenían exigió que se realizaran pocas observaciones cuidadosas y aun menos experimentos. A la persona formada para encontrar a la geometría en la naturaleza, le bastaba con unas cuantas observaciones, relativamente fáciles y de carácter cualitativo, de sombras, espejos, palancas, así como el movimiento de los astros, para sentar la base empírica suficiente para la elaboración de teorías a menudo muy logradas. Las obvias excepciones a esta generalización —la observación astronómica sistemática realizada en la antigüedad así como los experimentos y observaciones sobre refracción y dispersión del color mediante prismas llevados a cabo entonces y en la Edad Media— únicamente reforzarán su aspecto central cuando se le examine en la sección siguiente. Aunque las

[5] La abreviatura "ciencias clásicas" es una posible fuente de confusión, pues la anatomía y la fisiología fueron ciencias que alcanzaron también un alto grado de desarrollo durante la antigüedad clásica, y sólo comparten unas cuantas de las características de desarrollo que se les atribuyen aquí a las ciencias naturales clásicas. Estas ciencias biomédicas formaron parte de otro conjunto clásico, ejercido por un distinto grupo de personas, en su mayor parte relacionadas estrechamente con la medicina y con las instituciones médicas. Por estas y otras diferencias, no es posible manejar conjuntamente ambos grupos, y me limito aquí a las ciencias naturales, en parte por razones de competencia y en parte para evitar la excesiva complejidad. Sin embargo, véanse las notas 6 y 9, más adelante.

ciencias clásicas —incluidas, en respectos importantes, las matemáticas— fueron empíricas, los datos que exigía su desarrollo fueron de tal naturaleza que los podía proporcionar la observación cotidiana, a veces perfeccionada y sistematizada modestamente.[6] Se cuenta ésta entre las razones de que tal conglomerado de disciplinas avanzara tan rápidamente en circunstancias que no fomentaban en alto grado la evolución de otro grupo natural, aquél al que se refiere el título de mi artículo como producto de una tradición experimental.

Antes de examinar la segunda agrupación, consideremos brevemente la forma en que la primera se desarrolló después de su origen en la antigüedad. A partir del siglo IX, en el Islam, se practicaron activamente las cinco ciencias clásicas y, a menudo, fueron llevadas hasta un nivel de eficiencia técnica comparable al de la antigüedad. La óptica avanzó notablemente, y en algunos lugares varió el enfoque de las matemáticas por la intrusión de técnicas y materias algebraicas, no valoradas ordinariamente dentro de la tradición helenística, predominantemente geométrica. En el Occidente latino, desde el siglo XIII, el desarrollo técnico de estos campos, matemáticos en general, estuvo subordinado a una tradición predominantemente filosófica-teológica, novedad importante que había estado restringida antes a la óptica y a la estática. Se conservaron, sin embargo, porciones significativas del cuerpo de las matemáticas y la astronomía de la antigüedad y del Islam, y ocasionalmente se estudiaron por su propio mérito hasta que, durante el Renacimiento, volvieron a ser objeto de la investigación europea, que continuaba siendo erudita.[7] La agrupación de las cien-

[6] Comienzan a exististir datos depurados sólo cuando recogerlos es cumplir con una función social definida. Que la anatomía y la fisiología, de las cuales hacen falta tales datos, se hayan desarrollado mucho en la antigüedad debe de ser consecuencia de su evidente importancia para la medicina. Y que incluso esa importancia se haya discutido a menudo acaloradamente —¡por los empiristas!— debe servir para explicar la carencia relativa, salvo en Aristóteles y Teofrasto, de datos antiguos, aplicables a los intereses más generales y relativos al desarrollo, taxonómicos y comparativos, que son básicos para las ciencias biológicas del siglo XVI. De las ciencias físicas clásicas, sólo la astronomía necesitaba datos de uso social evidente —para elaborar calendarios y, desde el siglo II a. C., para hacer horóscopos—. Si las otras ciencias hubiesen estado atenidas a la existencia de datos elaborados, entonces muy probablemente no hubieran ido más allá del estudio de campos como el calor.

[7] Para la redacción de este párrafo, fueron muy útiles mis discusiones con John Murdoch, quien subraya los problemas historiográficos que se encuentran cuando las ciencias clásicas se conciben como tradiciones de investigación continuadas desde la Edad Media latina. Sobre este asunto, véase su "Philosophy and the Enterprise of

cias matemáticas, reconstituida entonces, se asemejó estrechamente a su progenitora helenística. A medida que, durante el siglo XVI, se fueron desarrollando estos campos comenzó a asociarse a ellos la investigación sobre un campo más. En parte como resultado del análisis escolástico del siglo XIV, el tema del movimiento local se separó del problema filosófico tradicional, relativo al cambio cualitativo, para convertirse en una materia de estudio de carácter autónomo. Ya muy desarrollado dentro de las tradiciones filosóficas de la antigüedad y de la Edad Media, el problema del movimiento resultó de la observación cotidiana, y se formuló en términos matemáticos generales. Por ello fue que encajó perfectamente dentro de la agrupación de las ciencias matemáticas con las cuales, de ahí en adelante, se desarrolló en íntima asociación.

Aumentadas así, las ciencias clásicas continuaron desde el Renacimiento en adelante hasta constituir un conjunto fuertemente unido. Copérnico definió el público competente para juzgar su obra clásica sobre astronomía con las siguientes palabras: "Las matemáticas se escriben para matemáticos." Galileo, Kepler, Descartes y Newton son tan sólo unos cuantos de los muchos personajes del siglo XVII que pasaron fácil y a menudo consecuentemente de las matemáticas a la astronomía, a la armonía, a la estática, a la óptica y al estudio del movimiento. Con la excepción parcial de la armonía, además, los fuertes vínculos existentes entre estos campos relativamente matemáticos perduraron con pocos cambios hasta principios del siglo XIX, mucho después de que las ciencias clásicas habían dejado de ser las únicas partes de la física sometidas a un continuado e intenso escrutinio. Los temas científicos a los cuales Euler, Laplace y Gauss hicieron sus principales aportaciones son casi idénticos a los explorados anteriormente por Newton y Kepler. Dentro de la misma lista podrían incluirse las obras de Euclides, Arquímedes y Tolomeo. Como sus antecesores de la antigüedad, además, los hombres que practicaron estas ciencias clásicas en los siglos XVII y XVIII realizaron, con algunas y notables excepciones, pocos experimentos y observaciones minuciosas, aunque, después de 1650, tales métodos se comenzaron a emplear de manera intensiva para estudiar otro conjunto de materias que más tarde llegaron a vincularse firmemente con partes de la agrupación clásica.

Science in the Later Middle Ages", en Y. Elkana, compilador, *The Interaction between Science and Philosophy* (Nueva York, 1974), pp. 51-74.

Un último comentario acerca de las ciencias clásicas preparará el camino para considerar el movimiento que fomentó los nuevos métodos experimentales. Todas estas ciencias, menos la armonía,[8] fueron reconstruidas desde sus cimientos durante los siglos XVI y XVII, pero en la física no ocurrió ninguna de estas transformaciones.[9] Las matemáticas pasaron de la geometría y de la "regla cósica" al álgebra, a la geometría analítica y al cálculo; en la astronomía se introdujeron las órbitas no circulares basadas en un sol que ahora ocupó una posición central; el estudio del movimiento fue transformado por leyes nuevas, por completo cuantitativas; en la óptica se tuvo una nueva teoría de la visión, la primera solución aceptable al problema clásico de la refracción y una teoría del color, modificada radicalmente. La estática, concebida como la teoría de las máquinas, es una excepción evidente. Pero, como la hidrostática, la teoría de los fluidos, se extendió durante el siglo XVII a la neumática, el "mar de aire", y puede incluirse

[8] Aunque la armonía no se transformó, su posición declinó mucho de fines del siglo XV a principios del siglo XVIII. Fue siendo relegada cada vez más a la primera sección de tratados dirigidos principalmente a asuntos prácticos: composición, temperamento y construcción de instrumentos. Todos estos temas fueron adquiriendo predominio aun en los tratados completamente teóricos, y de la misma manera la música se fue apartando de las ciencias clásicas. Pero tal separación llegó tarde y nunca fue completa. Kepler, Mersenne y Descartes, todos ellos escribieron sobre armonía; Galileo, Huyghens y Newton se mostraron interesados en ella; la *Tentamen novae theoriae musicae* de Euler está dentro de la gran tradición. Después de su publicación, en 1739, la armonía dejó de figurar como tema autónomo en las investigaciones de los científicos más connotados, pero ya había ocupado su lugar un campo relacionado: el estudio, tanto teórico como experimental, de las cuerdas que vibran, las columnas de aire oscilantes y la acústica en general. La carrera de Josep Sauveur (1653-1716) ilustra claramente la transición de la armonía como música a la armonía como acústica.

[9] Ocurrieron, desde luego, en las ciencias biológicas clásicas: la anatomía y la fisiología. Éstas fueron también las únicas partes de las ciencias biomédicas transformadas durante la Revolución científica. Pero las ciencias biológicas han dependido siempre de la observación refinada y también, ocasionalmente, del experimento; su validez la extrajeron de fuentes antiguas (p.e., Galeno), a veces distintas de las pertinentes para las ciencias físicas; y su desarrollo estuvo ligado íntimamente al de la profesión médica y las instituciones correspondientes. De ahí que los factores que deben analizarse para explicar la transformación conceptual o la expansión del campo de las ciencias biológicas en los siglos XVI y XVII no son, de ningún modo, los mismos ni los que más vienen al caso de los cambios correspondientes ocurridos en las ciencias físicas. Sin embargo, gracias a repetidas conversaciones con mi colega Gerald Geison, se refuerza mi impresión, que tengo desde hace tiempo, de que pueden examinarse fructíferamente desde un punto de vista como el esbozado aquí. Por eso sería de poco valor la distinción entre tradiciones experimental y matemática, pero podría ser decisiva una división entre ciencias médicas y no médicas.

consiguientemente en la lista de los campos reconstruidos. Estas transformaciones conceptuales de las ciencias clásicas son los acontecimientos a través de los cuales las ciencias físicas participaron en una revolución generalizada del pensamiento occidental. Si, por tanto, se concibe la Revolución científica como una revolución de *ideas*, lo que debe investigarse para comprenderla son los cambios ocurridos en estos campos tradicionales y cuasimatemáticos. Aunque durante los siglos XVI y XVII les ocurrieron a las ciencias otras cosas de vital importancia (la Revolución científica no fue tan sólo una revolución del pensamiento), éstas son de otra índole y hasta cierto punto independientes.

EL SURGIMIENTO DE LAS CIENCIAS BACONIANAS

Pasando ahora al surgimiento de otro grupo de campos de investigación, comenzaré de nuevo con una pregunta, con respecto a la cual abunda la confusión y el desacuerdo en la literatura histórica común y corriente. En caso de que lo haya habido, ¿qué fue lo nuevo acerca del movimiento experimentalista del siglo XVII? Algunos historiadores sostienen que la propia idea de basar la ciencia en información adquirida a través de los sentidos fue novedosa. De acuerdo con este punto de vista, Aristóteles creyó que las conclusiones científicas podrían deducirse de axiomas; y apenas a finales del Renacimiento los investigadores hicieron a un lado la autoridad aristotélica en grado suficiente como para estudiar la naturaleza en lugar de los libros. Pero estos residuos de la retórica del siglo XVII son en realidad absurdos. En los escritos metodológicos de Aristóteles se encuentran muchos pasajes en donde se insiste sobre la necesidad de observar minuciosamente, lo mismo que en los escritos de Francis Bacon. Randall y Crombie aislaron y estudiaron una importante tradición metodológica medieval que, desde el siglo XIII hasta principios del XVII, estableció reglas para extraer conclusiones sólidas a partir de observaciones y experimentos.[10] Las *Regulae* de Descartes y el *Novum organum* de Bacon deben mucho a tal tradición. En la época de la Revolución científica una *filosofía* empírica de la ciencia no fue ninguna novedad.

[10] A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science, 1100-1700* (Oxford, 1953); J. H. Randall, Jr., *The School of Padua and the Emergence of Modern Science* (Padua. 1961).

Otros historiadores señalan que, independientemente de lo que la gente haya creído acerca de la necesidad de observaciones y experimentos, durante el siglo XVII éstos fueron realizados con mucha más frecuencia que anteriormente. Esta generalización es, sin duda, correcta, pero pasa por alto las diferencias cualitativas esenciales entre las antiguas y las nuevas formas de experimentación. Los protagonistas del nuevo movimiento experimentalista, a menudo llamados baconianos por el principal promotor de este movimiento, no únicamente expandieron y elaboraron los elementos empíricos que ya estaban presentes en la tradición de la física clásica. En lugar de ello, crearon una muy diferente clase de ciencia empírica, que por aquella época, en vez de suplantarla, coexistía con su predecesora. Caracterizando brevemente el papel ocasional desempeñado en las ciencias clásicas por la observación sistemática y el experimento, podremos aislar las diferencias cualitativas que distinguen a la forma antigua de práctica empírica de su rival del siglo XVII.

Dentro de las tradiciones de la antigüedad y la Edad Media, muchos experimentos, al ser examinados, han resultado ser "experimentos pensados", la construcción mental de situaciones experimentales posibles cuyos resultados pudieran preverse con seguridad a partir de la experiencia cotidiana. Otros experimentos sí fueron realizados, especialmente en óptica, pero con frecuencia es en extremo difícil para el historiador decidir si un determinado experimento descrito en la literatura fue mental o real. A veces, los resultados comunicados no son los que serían ahora; en otras ocasiones, los aparatos necesarios no se podían producir todavía con los materiales y las técnicas existentes. Surgen de aquí problemas reales de decisión histórica que persiguen también a los estudiantes de Galileo. Es seguro que él hizo experimentos, pero se destaca más todavía como el hombre que llevó la tradición del experimento pensado a su forma más completa. Por desgracia, no siempre es posible distinguir cuándo hace una cosa y cuándo la otra.[11]

Por último, los experimentos de los cuales estamos seguros que sí fueron realizados parecen perseguir invariablemente uno de dos objetivos. Algunos se hicieron para demostrar una conclusión sacada de antemano por otros medios. Roger Bacon escribe que, aunque en

[11] Para un ejemplo útil y accesible, véase Canto II del *Paraíso* de Dante. Los pasajes localizados en índice analítico como "Experimentos, papel de los, en el trabajo de Galileo", en Ernan McMullin, compilador, *Galileo, Man of Science* (Nueva York, 1965), indicarán lo compleja y controvertida que sigue siendo la relación de Galileo con la tradición medieval.

principio puede deducirse la capacidad de la flama para quemar la carne, es más concluyente, por la propensión humana al error, poner la mano en el fuego. Otros experimentos reales, algunos de ellos consecuentes, tuvieron la finalidad de dar respuestas concretas a interrogantes planteadas por la teoría prevaleciente. Ejemplo de esto es el experimento de Tolomeo sobre la refracción de la luz en el límite entre el aire y el agua. Otros ejemplos son los experimentos ópticos medievales, en los cuales se producían colores haciendo pasar luz solar a través de esferas llenas de agua. Cuando Descartes y Newton investigaron los colores producidos a través de prismas, estaban extendiendo esta tradición de la antigüedad y especialmente de la Edad Media. La observación astronómica muestra una característica más, íntimamente relacionada con la anterior. Antes de Tycho Brahe, los astrónomos no escudriñaron sistemáticamente los cielos ni siguieron a los planetas en sus movimientos. En lugar de ello, registraron la salida, las oposiciones y otros elementos planetarios comunes, en relación con los cuales hacían falta las horas y las posiciones para elaborar efemérides y calcular parámetros que exigían las teorías existentes.

Compárese esta modalidad empírica con la que vehementemente proponía Bacon. Cuando sus seguidores, hombres como Boyle, Gilbert y Hooke, realizaron experimentos, rara vez lo hicieron para demostrar lo que ya se sabía o para determinar un detalle exigido para extender la teoría existente. En lugar de eso, deseaban observar la forma en que la naturaleza se comportaría en condiciones no observadas ni existentes con anterioridad. Sus productos típicos fueron las vastas historias naturales o experimentales en las cuales incorporaron los datos misceláneos que muchos de ellos consideraban como indispensables para la conclusión de la teoría científica. Examinadas atentamente, estas historias a menudo resultan ser menos al azar en cuanto a elección y arreglo de los experimentos, de lo que sus autores supusieron. Cuando a más tardar en 1650, los hombres que produjeron esas historias estaban guiados comúnmente por una u otra forma de las filosofías atómica o corpuscular. Por ello prefirieron experimentos que tuvieran la probabilidad de regular la forma, la disposición y el movimiento corpuscular; las analogías que fundamentan su yuxtaposición de comunicados de investigaciones revelan frecuentemente el mismo conjunto de compromisos metafísicos.[12] Pero el hueco existente entre la teoría metafísica, por una parte, y los experimentos, por la otra, fue

[12] Un ejemplo amplio aparece en Kuhn, "Robert Boyle and Structural Chemistry in the Seventeenth Century", *Isis*, 43 (1952): 12-36.

muy profundo al principio. El corpuscularismo que está implícito en gran parte de la experimentación realizada en el siglo XVII rara vez exigió la ejecución ni sugirió el resultado detallado de ningún experimento aislado. En estas circunstancias, tenía más valor el experimento que la teoría. La interacción que debe haber ocurrido entre ambos fue por lo común inconsciente.

Esa actitud hacia la función y la posición del experimento es tan sólo la primera de las novedades que distinguen al antiguo del nuevo movimiento experimentalista. Otra consiste en la mayor importancia que se le concede a los experimentos y que el propio Bacon describió como "retorcerle la cola al león". Éstos fueron los experimentos que obligaron a la naturaleza a exhibirse en condiciones en las que nunca se habría encontrado sin haber mediado la intervención del hombre. Los hombres que colocaron granos, peces, ratones y sustancias químicas, consecutivamente, en el vacío artificial de un barómetro o en la campana de la cual se había extraído el aire mediante una bomba, manifiestan precisamente este aspecto de la nueva tradición.

La referencia al barómetro y a la bomba de vacío aclara una tercera novedad del movimiento baconiano, quizá la más asombrosa de todas. Antes de 1590, el instrumental de las ciencias físicas constaba únicamente de los aparatos para observaciones astronómicas. Los siguientes cien años presenciaron la rápida introducción y utilización de telescopios, microscopios, termómetros, barómetros, bombas de aire, detectores de carga eléctrica y muchos otros mecanismos experimentales completamente nuevos. Este mismo periodo se caracterizó por la rápida adopción que hicieron los estudiosos de la naturaleza de un arsenal de aparatos de química que antes únicamente se hallaban en los talleres de los artesanos y en los refugios de los alquimistas. En menos de un siglo, la física se había vuelto instrumentalista.

Estos marcados cambios fueron acompañados de varios otros, uno de los cuales amerita mención especial. Los experimentalistas baconianos desdeñaron los experimentos pensados e insistieron en las comunicaciones exactas y pormenorizadas. Entre los resultados de esta insistencia figuran a veces sorprendentes confrontaciones con la tradición experimental antigua. Robert Boyle, por ejemplo, ridiculizó a Pascal por un libro sobre hidrostática en el cual, aunque los principios eran irreprochables, observó que las abundantes ilustraciones experimentales eran exclusivamente "mentales". Pascal no nos dice, se quejaba Boyle, de qué manera un hombre se sienta en el fondo de un

barril de seis metros de profundidad lleno de agua, con un vaso a manera de ventosa pegado a una pierna. Tampoco informa en dónde encontrar al sobrehumano artesano capaz de construir los perfeccionados instrumentos de los cuales dependían sus otros instrumentos.[13] Leyendo la literatura de la tradición a la cual pertenece Boyle, el historiador no halla dificultad para informar qué experimentos fueron realizados. El propio Boyle nombra testigos, agregando a veces sus títulos de nobleza.

Concediendo la novedad cualitativa del movimiento baconiano, ¿cómo influyó su existencia en el desarrollo de la ciencia? Para las transformaciones conceptuales de las ciencias clásicas, las contribuciones de los baconianos fueron muy pequeñas. Algunos experimentos desempeñaron un papel eficaz, pero todos ellos arraigaban en la tradición antigua. El prisma de Newton empleado para examinar "los celebrados fenómenos de los colores" proviene de experimentos medievales con esferas llenas de agua. El plano inclinado es un préstamo tomado del estudio clásico de las máquinas simples. El péndulo, aunque literalmente una novedad, es ante todo una nueva representación física de un problema que en la Edad Media los estudiosos del impulso habían considerado en relación con el movimiento oscilatorio de una cuerda que vibra o de un cuerpo que cae pasando por el centro de la tierra y luego volviendo a la superficie de la misma. El barómetro se consideró y analizó en un principio como un mecanismo hidrostático, diseñado para realizar el experimento pensado con el cual Galileo "demostró" los límites de la aversión de la naturaleza al vacío.[14] Sólo después de que se produjo un vacío más intenso y se demostró la variación del peso de la columna con el tiempo y la altitud, tanto el barómetro como su descendiente directo, la bomba de aire, ingresaron al gabinete de los instrumentos baconianos.

Aunque los experimentos que se acaban de mencionar tuvieron ciertas consecuencias, unos y otras fueron pocos, y todos ellos deben su especial eficacia a la proximidad con que pudieron ser confrontados con las teorías de la ciencia clásica, teorías que estaban en evolución y

[13] "Hydrostatical Paradoxes, Made out by New Experiments", en A. Millar, compilador, *The Works of the Honourable Robert Boyle* (Londres, 1744), 2:414-447, en cuya primera página aparece el análisis del libro de Pascal.

[14] Para el preludio medieval al enfoque de Galileo al problema del péndulo, véase Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, 1959), pp. 537-538, 570-571. Para la ruta hacia el barómetro de Torricelli, véase la poco conocida monografía de C. de Waard, *L'expérience barométrique, ses antécédents et ses explications* (Thouars [Deux-Dèvres], 1936).

de las cuales surgieron los experimentos. Los resultados de los experimentos del barómetro de Torricelli y de Galileo con el plano inclinado ya se habían previsto desde mucho antes. El experimento del prisma de Newton no habría sido más eficaz que sus antecesores tradicionales en transformar la teoría del color si este personaje no hubiese tenido acceso a la recién descubierta ley de la refracción, ley buscada dentro de la tradición clásica desde Tolomeo hasta Kepler. Por la misma razón, las consecuencias de ese experimento contrastan marcadamente con las de los experimentos no tradicionales que durante el siglo XVII revelaron efectos ópticos cualitativamente novedosos, como la interferencia, la difracción y la polarización. Estos últimos, por no haber sido productos de la ciencia clásica ni haberse podido yuxtaponer a las teorías pertenecientes a ésta, tuvieron poco que ver en el desarrollo de la óptica hasta principios del siglo XIX. Con ciertas reservas, Alexandre Koyré y Herbert Butterfield prueban que estaban en lo cierto. La transformación de las ciencias clásicas durante la Revolución científica es atribuible, con más exactitud, a nuevas maneras de contemplar fenómenos ya estudiados, que a un conjunto de descubrimientos experimentales imprevistos.[15]

En estas circunstancias, numerosos historiadores, entre ellos Koyré, han afirmado que el movimiento baconiano fue un fracaso, sin consecuencias para el desarrollo de las ciencias. Tal evaluación, sin embargo, es como la que suele imponérsele estridentemente, resultado de considerar que las ciencias son una sola. Si el baconianismo contribuyó en poco al desarrollo de las ciencias clásicas, no puede negarse que dio lugar a gran número de nuevos campos científicos, que a menudo arraigaban en los oficios existentes. El estudio del magnetismo, que extrajo sus primeros datos de las experiencias tenidas con la brújula, es un ejemplo de esto.

El campo de la electricidad surgió de los esfuerzos por encontrar la relación entre la atracción del imán por el hierro y la del ámbar frotado por la paja seca y desmenuzada. Además, el desarrollo de estos dos campos tuvo que depender de la fabricación de instrumentos más potentes y perfeccionados. Ambos son típicos de las ciencias baconianas nuevas. Esta generalización puede extenderse al estudio del calor. El calor, desde tiempo atrás tenido como tema de especulación dentro de las tradiciones filosófica y médica, se transformó en tema de investigación sistemática con la invención del termómetro. La química presenta un caso de tipo diferente y mucho más complejo. Muchos de

[15] Alexandre Koyré, *Études galiléennes* (París, 1939); Butterfield, *Origins of Modern Science*.

sus instrumentos, reactivos y técnicas principales ya existían desde mucho antes de la Revolución científica. Pero hasta fines del siglo XVI eran ante todo propiedad de artesanos, farmacéuticos y alquimistas. Sólo después de la revaluación de los oficios y de las técnicas de manipulación, se empezaron a emplear regularmente en la búsqueda experimental del *conocimiento* natural.

Ya que estos campos y otros por el estilo fueron nuevos focos de actividad científica en el siglo XVII, no es sorprendente que las pocas transformaciones que produjeron al principio no fueran otras que el descubrimiento repetido de efectos experimentales nuevos. Si la posición de una teoría congruente y capaz de producir predicciones acertadas es el signo de un campo científico desarrollado, debe decirse que las ciencias baconianas permanecieron subdesarrolladas durante todo el siglo XVII y parte del XVIII. Tanto su literatura de investigación como sus pautas de crecimiento se asemejan más a las de algunas de las ciencias sociales de hoy en día, que a las de las ciencias clásicas contemporáneas. A mediados del siglo XVIII, sin embargo, la experimentación relativa a estos campos se había vuelto más sistemática, concentrándose en conjuntos seleccionados de fenómenos, a los cuales se creía especialmente reveladores. En la química, el estudio de las reacciones de desplazamiento y de saturación fue predominante; en la electricidad, el estudio de la conducción y de la botella de Leyden; en termometría y calor, el estudio de la temperatura de las mezclas. Al mismo tiempo, se fueron adaptando los conceptos de corpúsculo y otros más a estas particulares áreas de investigación experimental, de lo cual los ejemplos mejor conocidos son las nociones de afinidad química o de los fluidos eléctricos y sus atmósferas.

Las teorías dentro de las cuales se manejaron estos conceptos siguieron siendo durante algún tiempo predominantemente cualitativas y, a menudo, correspondientemente vagas, pero, a pesar de ello, pudieron ser demostradas mediante experimentos con una precisión desconocida en las ciencias baconianas a principios del siglo XVIII. Además, a medida que los perfeccionamientos que permitían tales confrontaciones continuaron en el último tercio del siglo y fueron convirtiéndose en el centro de los campos correspondientes, las ciencias baconianas lograron rápidamente un estado muy semejante al de las ciencias clásicas de la antigüedad. La electricidad y el magnetismo se convirtieron en ciencias desarrolladas con los trabajos de Aepinus, Cavendish y Coulomb; el calor, con los trabajos de Black, Wilcke y Lavoisier; y lo mismo ocurrió en la química, pero no antes de la época

de la revolución química de Lavoisier. A principios del siglo siguiente, los descubrimientos ópticos del siglo XVII, cualitativamente novedosos, fueron asimilados a la ciencia de la óptica, de más antigüedad. Al ocurrir acontecimientos como éstos, la ciencia baconiana había alcanzado la mayoría de edad, reivindicando la fe, aunque no siempre la metodología, de sus fundadores del siglo XVII.

¿Cómo es que, durante los casi dos siglos de maduración, el conjunto de las ciencias baconianas se relaciona con el conjunto de las llamadas aquí ciencias "clásicas"? Hasta la fecha se ha estudiado muy poco esta pregunta, pero la respuesta, creo, debe ser: no se relacionaron mucho y cuando lo hicieron fue con grandes dificultades, tanto intelectuales como institucionales y a veces políticas. En el siglo XIX, las dos agrupaciones, la clásica y la baconiana, conservan sus rasgos distintivos. Dicho claramente, las ciencias clásicas fueron agrupadas con las "matemáticas"; las baconianas se consideraron en general como "filosofía experimental" o, en Francia, como "física experimental"; la química, enlazada a la farmacología, la medicina y a varias artesanías, fue en parte un miembro del último grupo, y en parte congénere de especialidades más bien prácticas.[16]

La separación entre ciencias clásicas y baconianas comienza en los orígenes de estas últimas. El propio Bacon desconfiaba no únicamente de las matemáticas, sino de toda la estructura casi deductiva de la ciencia clásica. Los críticos que lo ridiculizan por no haber reconocido la mejor ciencia de su época pasan por alto este punto. No rechazó la concepción copernicana porque prefiriese el sistema de Tolomeo. Lejos de ello, rechazó ambos porque pensaba que ningún sistema tan complejo, abstracto y matemático podría contribuir a entender o a controlar la naturaleza.

Sus seguidores de la tradición experimentalista, aunque aceptaron la cosmología copernicana, rara vez se propusieron adquirir la habilidad matemática necesaria para entender o proseguir las ciencias clásicas. Tal situación prevaleció durante todo el siglo XVIII: Franklin, Black y Nollet la representan tan claramente como Boyle y Hooke.

La situación contraria es todavía más equívoca. Cualesquiera que hayan sido las causas del movimiento baconiano, éstas repercutieron

[16] Para una de las primeras etapas en el desarrollo de la química como tema de interés intelectual, véase Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958). Para una etapa posterior, de vital importancia, véase Henry Guerlac, "Some French Antecedents of the Chemical Revolution", *Chymia,* 5 (1959): 73-112.

en las ciencias clásicas ya establecidas. A los campos correspondientes a estas últimas, especialmente a la astronomía, llegaron instrumentos nuevos. Cambiaron asimismo las normas para comunicar y evaluar los datos. Hacia la última década del siglo XVII, confrontaciones como la de Boyle con Pascal ya no son imaginables. Pero, como ya se dijo, el efecto de estos avances fue un perfeccionamiento gradual y no un cambio radical de la naturaleza de las ciencias clásicas. Desde antes, la astronomía ya era instrumental como la óptica era experimentalista; los méritos relativos de la observación por medio del telescopio y a simple vista estuvieron en duda durante todo el siglo XVII; exceptuado el péndulo, los instrumentos de la mecánica fueron ante todo herramientas para demostraciones pedagógicas y no para investigación. En estas circunstancias, aunque se estrecha la brecha ideológica entre las ciencias baconianas y las clásicas, de ninguna manera desaparece. Durante el siglo XVIII, los principales profesionales de las ciencias matemáticas establecidas ejecutaron pocos experimentos e hicieron todavía menos contribuciones sustanciales al desarrollo de los nuevos campos experimentales.

Galileo y Newton son las excepciones evidentes. Pero sólo el último es una excepción real, y ambos iluminan la naturaleza de la división clásico-baconiana. Orgulloso miembro del Lincei, Galileo fue también el inventor del telescopio, el péndulo de escape, precursor del termómetro, así como de otros instrumentos. Participó clara y significativamente en aspectos del movimiento que aquí llamamos baconiano. Pero, como lo indica también la carrera de Leonardo, los intereses instrumentalistas e ingenieriles no convierten a un hombre en un experimentalista, y la actitud dominante de Galileo hacia este aspecto de la ciencia se conservó dentro de la modalidad clásica. En ocasiones, proclamó que el poder de su mente le hacía redundante ejecutar los experimentos que describía. En otras, por ejemplo al considerar las limitaciones de las bombas de agua, recurrió sin comentario al aparato que rebasaba la capacidad de la tecnología existente. La crítica de Boyle a Pascal se aplica puntualmente a Galileo. Aísla una figura que realizó contribuciones memorables a las ciencias clásicas, pero, salvo por la construcción y uso de instrumentos, ninguna a las ciencias baconianas.

Educado durante los años en que el baconianismo británico estaba en su apogeo, Newton participó inequívocamente de ambas tradiciones. Pero, como I. B. Cohen recalcó hace dos décadas, lo que resulta son dos formas distintas de influencia newtoniana, una de ellas identi-

ficable hasta los *Principia*, y la otra hasta la *Óptica*.[17] Esa idea obtiene significación especial si se observa que, aunque los *Principia* se apegan a la tradición de las ciencias clásicas, la *Óptica* no es de ninguna manera inequívocamente baconiana. Como su materia de estudio fue la óptica, campo ya desarrollado, Newton fue capaz de yuxtaponer constantemente experimentos seleccionados a la teoría, y sus logros resultan precisamente de esas yuxtaposiciones. Boyle, cuya *Historia experimental de los colores* incluye varios de los experimentos sobre los cuales fundó Newton su teoría, no hizo tal intento; se contentó con el comentario de que sus resultados sugerían especulaciones que valía la pena proseguir.[18] Hooke quien descubrió los "anillos de Newton", primer tema de la *Óptica*, libro II, acumuló datos más o menos de la misma manera. Newton, en lugar de ello, los seleccionó y utilizó para elaborar su teoría, muy dentro de la línea de sus antecesores de la tradición clásica, que había recurrido a la información menos recóndita usualmente suministrada por las experiencias cotidianas. Incluso cuando se volvió, como en las "Preguntas" a su *Óptica*, a temas baconianos nuevos como la química, la electricidad y el calor, Newton eligió de la creciente literatura experimental aquellas observaciones y experimentos determinados que podrían eliminar sus problemas teóricos. Aunque en estos campos apenas nacientes no podían lograrse avances tan importantes como los relativos a la óptica, esos conceptos como el de afinidad química, dispersos entre las "Preguntas", resultaron una rica fuente para los profesionales baconianos, más sistemáticos y selectivos, del siglo XVIII y, por consiguiente, vinieron a ellos una y otra vez. Lo que encontraron en la *Óptica* y sus "Preguntas" fue un uso no baconiano del experimento baconiano, producto de la profunda y simultánea inmersión de Newton en la tradición científica clásica.

Sin embargo, con la parcial excepción de sus contemporáneos de la Europa continental Huyghens y Mariotte, el ejemplo de Newton es único. Durante el siglo XVIII, a principios del cual su trabajo científico estaba completo, ningún otro participó significativamente de ambas tradiciones, situación que se refleja también en el desarrollo de las instituciones científicas y de la estructura de las carreras, por lo menos en el siglo XIX. Aunque hace falta investigar mucho todavía a este respecto, los siguientes comentarios indicarán la pauta general que puede seguir la investigación. Por lo menos en el nivel elemental, las ciencias clásicas se habían establecido dentro del plan de estudios

[17] I. B. Cohen, *Franklin and Newton* (Filadelfia, 1956).

[18] Boyle, *Works*, 2:42-43.

común y corriente de la universidad medieval. Durante los siglos XVII y XVIII, aumentó el número de alumnos dedicados a ellas. Los maestros, junto con quienes ocupaban posiciones en las recién fundadas academias científicas nacionales de Francia, Prusia y Rusia, fueron los principales contribuyentes al desarrollo de las ciencias clásicas. A ninguno de ellos se le puede describir con propiedad calificándolo de aficionado, aunque tal término se les haya aplicado indiscriminadamente a los profesionales de la ciencia de los siglos XVII y XVIII en conjunto. Los profesionales de la ciencia baconiana fueron, sin embargo, por lo común aficionados o *amateurs*, con la única excepción de los químicos, fundadores de carreras dentro de la farmacología, la industria y algunas escuelas médicas durante el siglo XVIII. Para otras ciencias experimentales, las universidades no tuvieron cabida antes de la segunda mitad del siglo XIX. Aunque algunos de sus profesionales sí ocuparon puestos en varias academias científicas nacionales, a menudo lo fueron como ciudadanos de segunda clase. Únicamente en Inglaterra, en donde las ciencias clásicas habían empezado a declinar marcadamente antes de la muerte de Newton, estuvieron bien representados los experimentalistas, estableciéndose un contraste que se pormenorizará en seguida.

El ejemplo de la Academia de Ciencias francesa es instructivo a este respecto, y al examinarlo se establecerá a la vez un antecedente para analizar uno de los puntos de la sección siguiente. Guillaume Amontons (1663-1705), bien conocido por sus aportaciones tanto al diseño como a la teoría de instrumentos baconianos como el termómetro y el higrómetro, nunca ascendió dentro de la academia más allá de la categoría de *élève*, puesto en el que estuvo vinculado al astrónomo Jean Le Fèvre. Pièrre Polinière (1671-1734), citado a menudo como el hombre que introdujo la *physique expérimentale* a Francia, nunca perteneció formalmente a la academia. Si bien los dos principales aprotadores franceses a las ciencias eléctricas del siglo XVIII fueron académicos, el primero, C. F. de C. Dufay (1698-1739), fue colocado en la sección de química, mientras que el segundo, Abbé Nollet (1700-1770), fue miembro de la heterogénea sección reservada para los profesionales de las *arts mécaniques*. Allí, pero únicamente despues de haber sido elegido para la Real Sociedad de Londres, Nollet se elevó desde abajo, sucediendo entre otros al conde de Buffon y a Ferchauld de Réaumur. El famoso constructor de instrumentos, Abraham Bréguet, por otra parte, hombre que poseía las diferentes clases de talentos para las cuales se había planeado la sección de mecánica, no

encontró lugar en la academia hasta 1816, a la edad de 69 años, en que fue inscrito por orden real.

Lo que sugieren estos casos aislados lo indica también la organización formal de la academia. Hasta 1785 no fue creada una sección para *physique expérimentale*, y entonces fue incluida dentro del departamento de matemáticas —con la geometría, la astronomía y la mecánica—, y no en el departamento de las *sciences physiques,* más manuales —anatomía, química y metalurgia, botánica y agricultura, e historia natural y mineralogía—. Después de 1815, cuando a la nueva sección se le cambió de nombre, a *physique générale,* entre sus miembros los experimentalistas fueron muy pocos. Contemplado en conjunto el siglo XVIII, las aportaciones de los académicos a las ciencias físicas baconianas fueron menores, en comparación con las de los médicos, farmacéuticos, industriales, constructores de instrumentos, conferencistas viajeros y hombres de medios independientes. De nuevo, la excepción es Inglaterra, en donde la Real Sociedad estuvo poblada principalmente por tales *amateurs*, antes que por hombres cuyas carreras fuesen primero y definitivamente científicas

LOS ORÍGENES DE LA CIENCIA MODERNA

Volvamos ahora del fin del siglo XVIII a mediados del siglo XVII. Las ciencias baconianas estaban entonces en gestación, mientras las clásicas se transformaban radicalmente. Junto con sus cambios concomitantes en las ciencias biológicas, estos dos conjuntos de acontecimientos constituyen lo que ha venido a llamarse la Revolución científica. Aunque en este ensayo no me propongo explicar sus extraordinarias y complejas causas, vale la pena anotar cuán diferente es la cuestión de las causas cuando se subdividen los avances por ser explicados.

No es nada sorprendente que, durante la Revolución científica, las ciencias clásicas hayan sido las únicas en transformarse. Otros campos de la física comenzaron a existir apenas a fines de esta época. Mientras se iban formando, además, carecían de un cuerpo importante de doctrina técnica unificada por reconstruir. Por el contrario, un conjunto de las razones de la transformación de las ciencias clásicas se encuentra dentro de su propia trayectoria de desarrollo anterior. Aunque los historiadores difieren enormemente acerca de la importancia que debe asignársele a estas razones, pocos son ahora los que dudan de que algunas reformulaciones medievales de doctrinas antiguas, islámicas o latinas, fueron de importancia primordial para per-

sonajes como Copérnico, Galileo y Kepler. En cuanto a las ciencias baconianas, no veo raíces escolásticas semejantes, a pesar de que a veces se pretenda que la tradición metodológica desciende de Grosseteste.

Muchos de los demás factores que ahora se invocan frecuentemente para explicar la Revolución científica sí contribuyeron a la evolución tanto de las ciencias clásicas como de las baconianas, pero a menudo en formas y grados diferentes. Los efectos de los nuevos ingredientes intelectuales —al principio herméticos y luego corpusculares mecánicos— en el contexto en donde se comenzó a practicar la ciencia moderna constituyen un primer ejemplo de tales diferencias. Dentro de las ciencias clásicas, los movimientos herméticos fomentaron a veces el *status* de las matemáticas, alentaron los intentos por hallar en la naturaleza regularidades matemáticas, y ocasionalmente consagraron a las formas matemáticas simples, así descubiertas, como causas formales, el término de la cadena causal científica.[19] Tanto Galileo como Kepler dan ejemplos de esta función de las matemáticas, crecientemente ontológica, a la vez que este último muestra una influencia hermética más oculta. De Kepler y Gilbert a Newton, aunque entonces en forma atenuada, las simpatías y antipatías naturales, prominentes en el pensamiento hermético, contribuyeron a llenar el vacío creado por el colapso de las esferas aristotélicas que habían mantenido en sus órbitas a los planetas.

Después del primer tercio del siglo XVII, cuando se comenzó a rechazar el misticismo hermético, su lugar, todavía dentro de las ciencias clásicas, fue tomado rápidamente por una u otra forma de filosofía corpuscular, proveniente del atomismo antiguo. Las fuerzas de atracción y repulsión entre cuerpos macroscópicos o microscópicos se dejaron de aceptar, y de ahí surgió una gran oposición a Newton. Pero dentro del universo infinito exigido por el corpuscularismo, no podía haber ni centros ni direcciones preferentes. Los movimientos naturales permanentes únicamente podían darse en líneas rectas y no

[19] Desde hace casi medio siglo se reconoce el mayor valor que muchos de los primeros científicos de la época moderna le asignaron a las matemáticas, como instrumento o como ontología, y durante muchos años se ha descrito tal hecho como una reacción al neoplatonismo del Renacimiento. Cambiar al calificativo de "hermeticismo" no mejora la explicación de este aspecto del pensamiento científico —aunque sí ha contribuido a que se reconozcan otras novedades importantes—, y el cambio ilustra una limitación decisiva del saber reciente, la cual no he sabido cómo evitar aquí. En el uso ordinario, "hermeticismo" se refiere a toda una variedad de movimientos supuestamente relacionados: el neoplatonismo, la cábala, los rosacruces, y lo que se quiera. Urge distinguir estos movimientos temporal, geográfica, intelectual e ideológicamente.

podían ser perturbados sino por colisiones intercorpusculares. A partir de Descartes, esa nueva perspectiva conduce directamente a la primera ley de Newton relativa al movimiento y —por el nuevo problema del estudio de los choques— también a su segunda ley. Uno de los factores que actuaron en la transformación de las ciencias clásicas fue, desde luego, el nuevo clima intelectual, primero hermético y luego corpuscular, dentro del cual se practicaron aquéllas después de 1500.

El mismo clima intelectual nuevo afectó a la ciencias baconianas, pero a menudo por otras razones y de maneras diferentes. Indudablemente, la insistencia de los herméticos en las simpatías ocultas ayuda a explicar el creciente interés por el magnetismo y la electricidad después de 1550; influencias parecidas fomentaron el *status* de la química desde la época de Paracelso a la de Helmont. Pero las investigaciones actuales sugieren cada vez con más insistencia que la contribución principal del hermeticismo a las ciencias baconianas, y quizá a la totalidad de la Revolución científica, fue la figura fáustica del mago, dedicado a manipular y controlar la naturaleza, a menudo con la ayuda de ingeniosos artefactos, instrumentos y máquinas. Al reconocer a Francis Bacon como personaje de transición entre el mago Paracelso y el filósofo experimental Robert Boyle, se ha hecho más en los últimos años que en ninguna otra época por transformar la comprensión histórica de la forma en que se originaron las nuevas ciencias experimentales.[20]

Para estos campos baconianos, a diferencia de sus contemporáneos clásicos, los efectos de la transición al corpuscularismo fueron equívocos, y es ésta la primera de las razones de que el hermeticismo haya durado tanto tiempo en materias como la química y el magnetismo, pero no así en la astronomía ni en la mecánica. Declarar que el azúcar es dulce porque sus partículas esféricas acarician la lengua, desde luego no es un avance si a ello se atribuye la potencia de la sacarina. La experiencia del siglo XVIII fue demostrar que el desarrollo de las ciencias baconianas requería frecuentemente guiarse por conceptos como los de afinidad y flogisto, no radicalmente distintos de las simpatías y antipatías naturales de la corriente hermética. Lo que sí hizo el corpuscularismo fue separar las ciencias experimentales de la magia, promoviendo así la independencia necesaria para las primeras. Lo

[20] Frances, A. Yates, "The Hermetic Tradition in Renaissance Science", en C. S. Singleton, compilador, *Science and History in the Renaissance* (Baltimore, 1968), pp. 255-274; Paolo Rossi, *Francis Bacon: From Magic to Science*, traducción al inglés de Sacha Rabinovitch (Londres, 1968).

más importante es que fundamentó la necesidad de experimentar, cosa que ninguna forma de aristotelismo ni de platonismo hubiese logrado. Aunque la tradición que gobernaba la explicación científica demandaba la especificación de causas formales o esencias, lo procedente únicamente podría ser suministrado por el curso natural de los acontecimientos. Experimentar o someter a la naturaleza era violentarla, ocultándose así el papel de las "naturalezas" o formas que hacían que las cosas fuesen lo que son. En un universo corpuscular, por otra parte, la experimentación tiene una obvia pertinencia para las ciencias. No podía cambiar e iluminar especialmente las condiciones mecánicas y las leyes relativas a los fenómenos naturales. Tal fue la lección que Bacon extrajo repetidamente de la fábula de Cupido encadenado.

Desde luego, el nuevo clima intelectual no fue la única causa de la Revolución científica. Los demás factores que suelen tomarse en cuenta para explicarla cobran mayor eficacia cuando se examinan por separado en los campos clásico y baconiano. Durante el Renacimiento el monopolio de la universidad medieval sobre el aprendizaje se fue rompiendo poco a poco. Nuevas fuentes de riqueza, nuevas formas de vida y nuevos valores se combinaron para consolidar la posición social de un grupo clasificado anteriormente como artesanos y artífices. La invención de la imprenta y el redescubrimiento de documentos de la antigüedad dio a sus miembros el acceso a la herencia científica y tecnológica que antes sólo era asequible, en el mejor de los casos, a la universidad clerical. Uno de los resultados, que se manifiesta en las carreras de Brunelleschi y Leonardo, fue el surgimiento, de los gremios de artesanos, de los ingenieros artistas —durante los siglos XV y XVI—, cuya maestría abarcaba la pintura, la escultura, la arquitectura, las fortificaciones, el suministro de agua, el diseño de máquinas de guerra y la construcción. Apoyados por un complicado sistema de patrocinio, estos hombres fueron de inmediato empleados y también ornamentos de las cortes del Renacimiento y después, algunas veces, de los gobiernos de las ciudades de la Europa del norte. Algunos de ellos se asociaron también informalmente con los círculos humanistas, lo que los introdujo a las fuentes herméticas y neoplatónicas. Estas fuentes no fueron, sin embargo, las que legitimaron principalmente sus posiciones como participantes de un nuevo aprendizaje de la cortesanía. Fue, más bien, su habilidad para citar y comentar coherentemente trabajos como *De arquitectura*, de Vitruvio, la *Geometría* y la *Óptica*, de Euclides, los pseudoaristotélicos *Problemas mecánicos* y,

después de mediados del siglo XVI, tanto *De los cuerpos flotantes*, de Arquimedes, como la *Pneumatica*, de Herón.[21]

Es incuestionable la importancia que tuvo este nuevo grupo para la Revolución científica. Galileo, en varios aspectos, y Simon Stevin, en todos, figuran entre sus productos. Lo que hace falta subrayar, sin embargo, es que las fuentes a que recurrían sus miembros y los campos en los que más influyeron pertenecen a la agrupación que hemos venido llamando clásica. Ya sea como artistas (la perspectiva) o como ingenieros (la construcción y el suministro de agua), lo que aprovecharon principalmente fueron trabajos sobre matemáticas, estática y óptica. Ocasionalmente, la astronomía ingresó también dentro de su esfera de actividades, aunque en grado menor. Vitruvio se había interesado por la construcción de relojes de sol precisos; los artistas-ingenieros del Renacimiento pasaron incluso al diseño de otros instrumentos astronómicos.

El interés de los artistas-ingenieros por estos campos clásicos, si bien inconstante y en estado embrionario, fue factor significativo para la reconstrucción de dichos campos. Probablemente allí se hayan originado los nuevos instrumentos de Brahe y, desde luego, la preocupación de Galileo por la resistencia de los materiales y el poder limitado de las bombas de agua, problema este último que conduce directamente al barómetro de Torricelli. Plausiblemente —aunque más controvertible—, el interés por la ingeniería, fomentado en especial por los trabajos de artillería, contribuyó a separar el problema del movimiento local, del problema filosófico mayor del cambio, desplazando el enfoque de las proporciones geométricas a los números. Estos y otros temas relacionados son los que llevan a la creación de una sección de *arts mécaniques* en la academia francesa, y los que ocasionaron que tal sección fuese agrupada con las de geometría y astronomía. El hecho de que de ahí en adelante las ciencias baconianas no hayan encontrado su lugar natural tiene su contraparte en los intereses de los artistas-ingenieros del Renacimiento, que no incluyeron los aspectos no mecánicos y no matemáticos de artesanías como el teñido, el tejido, la

[21] P. Rossi, *Philosophy, Technology, and the Arts in the Early Modern Era*, traducción al inglés de Salvator Attanasio (Nueva York, 1970). Rossi y los primeros estudiosos del tema no consideran, sin embargo, la posible importancia que tiene distinguir entre los oficios practicados por los artistas-ingenieros y los introducidos más tarde al público ilustrado por figuras como Vanoccio Biringuccio y Agrícola. Por algunos aspectos de esa distinción, que se expone más adelante, le agradezco su reveladora conversación a mi colega Michael S. Mahoney.

fabricación de vidrio y la navegación. Fueron éstas, sin embargo, precisamente las artes que desempeñaron un papel tan importante en la génesis de las nuevas ciencias experimentales. Las tesis programáticas de Bacon requerían las historias naturales de cada una de estas ciencias, y así fue como se escribieron algunas de las historias de las artes no mecánicas.

Como no se ha planteado todavía la posible utilidad de una separación, por lo menos analítica, de artes mecánicas y no mecánicas, lo que sigue debe considerarse en grado de tentativa. Como objetos de intereses aprendidos, sin embargo, estas últimas artes parecen haber llegado después que las primeras. Presumiblemente fomentadas al principio por las actitudes de Paracelso, su establecimiento lo demuestran trabajos como la *Pirotecnia* de Biringuccio, *De re metallica* de Agrícola, los *Newe Attractive* de Robert Norman y el *Discours* de Bernard Palissy, el primero publicado en 1540. La posición alcanzada ya por las artes mecánicas contribuyó, indudablemente, a explicar la aparición de libros como éstos, pero el movimiento que los produjo es muy distinto. Pocos de los profesionales de las artes no mecánicas disfrutaron de los sistemas de patrocinio o lograron escapar antes de finales del siglo XVII de los confines de los gremios de artesanos. Ninguno podía apoyarse en una tradición literaria clásica y significativa, hecho que probablemente hizo que la literatura y la imagen del mago hermético y pseudoclásico fuese más importante para ellos, que para sus contemporáneos de los campos matemáticos-mecánicos.[22] Salvo en la química, entre los farmacéuticos y los doctores, la práctica real rara vez se combinó con el discurso aprendido sobre ella. Los doctores, sin embargo, sí figuran en grandes números entre quienes escribieron trabajos aprendidos no únicamente de química sino también de otras artes no mecánicas, que suministraron los datos exigidos para el desarrollo de las ciencias baconianas. Agrícola y Gilbert son únicamente los ejemplos más antiguos.

Estas diferencias entre las dos tradiciones arraigadas en artesanías prexistentes pueden ayudar a explicar una diferencia más. No obs-

[22] Aunque nadie trata directamente este punto, hay dos artículos recientes que sugieren la forma en que, primero el hermeticismo y luego el corpuscularismo, podrían figurar en las batallas que se dieron en el siglo XVII por ganar posiciones sociointelectuales: P. M. Rattansi, "The Helmontian-Galenist Controversy in Restoration England", *Ambix*, 12 (1964): 1-23; T. M. Brown, "The College of Physicians and the Acceptance of Iatromechanism in England, 1665-1695", *Bulletin of the History of Medicine*, 44 (1970): 12-30.

tante que los artistas-ingenieros del Renacimiento fueron útiles socialmente, lo sabían así, y a veces basaron sus pretensiones en ello, los elementos utilitarios que hay en sus escritos son mucho menos persistentes y notorios que los presentes en los escritos de quienes trabajaban en las artes no mecánicas. Recuérdese lo poco que le importó a Leonardo que pudiesen construirse o no los mecanismos que ideó; o compárense los escritos de Galileo, Pascal, Descartes y Newton con los de Bacon, Boyle y Hooke. El utilitarismo es rasgo primordial únicamente de los escritos pertenecientes al segundo grupo, hecho que puede dar la clave para entender la diferencia principal entre las ciencias clásicas y las baconianas.

Exceptuando la química, ya institucionalizada a fines del siglo XVII, las ciencias baconianas y las clásicas florecieron en diferentes escenarios nacionales desde, por lo menos, 1700. Profesionales de ambas pueden encontrarse en la mayoría de los países europeos, pero el centro de las ciencias baconianas fue evidentemente Inglaterra, en tanto que el de las ciencias matemáticas fue la región continental, especialmente Francia. Newton es el último matemático británico anterior a mediados del siglo XIX que puede compararse con personajes del continente como Bernoulli, Euler, Lagrange, Laplace y Gauss. En las ciencias baconianas, el contraste se inicia desde antes y es menos claro, pero es difícil encontrar antes de 1780 experimentalistas continentales con reputaciones equivalentes a las de Boyle, Hooke, Hauksbee, Gray, Hales, Black y Priestley. Además, los que vienen primero a la mente son holandeses o suizos, y especialmente de los primeros. Buenos ejemplos de éstos son Boerhaave, Musschenbroek y Saussure.[23] Sería muy útil estudiar esas pautas de distribución geográfica, pero tomando en cuenta las poblaciones relativas y especialmente la productividad relativa de las ciencias baconianas y las clásicas. Tal investigación podría demostrar también que las diferencias nacionales apenas bosquejadas surgieron sólo a mediados del siglo XVII, y que se fueron acentuando con el trabajo de las generaciones posteriores. ¿No son mayores las diferencias entre las actividades realizadas durante el siglo XVIII por la Academia de Ciencias francesa y la Real Sociedad, que las observables entre las actividades de la Accademia del Cimento, la Montmor Academy y el "Colegio invisible" de Inglaterra?

[23] Se puede encontrar, aunque dispersa, información sobre este punto en Pierre Brunet, *Les physiciens Hollandais et la méthode expérimentale en France au XVIIIe siècle* (París, 1926).

Entre las numerosas y a veces contrarias explicaciones de la Revolución científica, solamente una de ellas sugiere el porqué de esta pauta de divergencias geográficas. Es la llamada tesis de Merton, una relaboración para las ciencias, de las explicaciones ofrecidas para el surgimiento del capitalismo y propuesta inicialmente por Weber, Troeltsch y Tawney.[24] Después de sus fases iniciales de proselitismo evangélico, se afirma, las comunidades protestantes o puritanas establecidas proporcionaron un *ethos* o ética especialmente favorables para el desarrollo de la ciencia. Entre sus componentes primarios hubo una fuerte tendencia al utilitarismo, una elevada valoración del trabajo —incluido el manual— y una desconfianza hacia el sistema que alentaba que cada hombre fuese, primero, el propio intérprete de las Escrituras y, luego, de la naturaleza. Dejando a un lado —cosa que otros no hacen— las dificultades de identificar tal *ethos* y de determinar si este mismo puede adscribirse a todos los protestantes o únicamente a ciertas sectas puritanas, las principales fallas de este punto de vista han consistido siempre en sus intentos de querer explicar demasiado. Bacon, Boyle y Hooke parecen encajar en la tesis de Merton, pero no así Galileo, Descartes y Huyghens. No se ha demostrado contundentemente que comunidades puritanas o protestantes, adelante ya de sus etapas de evangelización, hayan existido en alguna parte hasta que la Revolución científica tenía recorrido cierto trecho. No sorprende, pues, que la tesis de Merton sea controvertible.

Su atractivo, sin embargo, es mucho mayor si se aplica no a la Revolución científica en conjunto sino al movimiento que hizo avanzar las ciencias baconianas. Ese ímpetu inicial hacia el poder sobre la naturaleza mediante técnicas de manipulación e instrumentales fue conferido indudablemente por el hermeticismo. Pero las filosofías corpusculares, que después de 1630 comenzaron a sustituir al hermeticismo, no comportaban valores similares y, sin embargo, el baconianismo, continuó floreciendo. Y que haya ocurrido así especialmente en países no católicos sugiere que valdría la pena descubrir lo que es "puritano" y *ethos*, con respecto a las ciencias. Dos fragmentos aislados de información biográfica pueden complicar especialmente este problema. Denis Papin, quien construyó la segunda bomba de aire de Boyle e inventó la olla de presión, fue un hugonote huido de Francia

[24] R. K. Merton, *Science, Technology and Society in Seventeenth-Century England* (Nueva York, 1970). Esta nueva edición de una obra que se publicó por primera vez en 1938 incluye una "Bibliografía seleccionada: 1970", la cual sirve de guía en la controversia que se inició desde su aparición original.

debido a las persecuciones de mediados del siglo XVII. Abraham Bréguet, el fabricante de instrumentos que fue absorbido por la Academia de Ciencias francesa en 1816, fue un inmigrante de Neuchâtel, ciudad a la cual su familia había huido después de la revocación del Edicto de Nantes.

La génesis de la física moderna

La parte final de mi exposición la presentaré a manera de epílogo, y será el bosquejo de una posición que debe ser desarrollada y modificada mediante nuevas investigaciones. Pero, habiendo trazado los cursos de las ciencias clásicas y baconianas hasta fines del siglo XVIII, y visto que éstos fueron distintos, por lo menos debo preguntarme qué sucedió después. Cualquiera que esté familiarizado con la escena científica contemporánea reconocerá que la física ya no encaja en el esquema que acabo de dibujar, hecho que dificulta ante todo la posibilidad de ver tal esquema. ¿Cuándo y cómo ocurrió el cambio? ¿De qué naturaleza fue?

Parte de la respuesta consiste en que las ciencias físicas participaron, durante el siglo XIX, del rápido crecimiento y transformación sufridos por todas las profesiones aprendidas. Otros campos, como la medicina y las leyes, adoptaron nuevas formas institucionales, más rígidas y con normas intelectuales más exclusivas que antes. En las ciencias, a partir de fines del siglo XVIII, creció rápidamente el número de revistas y sociedades, y muchas de ellas, a diferencia de las tradicionales academias nacionales y sus publicaciones, quedaron restringidas a determinados campos científicos. Ciencias añejas, como las matemáticas y la astronomía, se convirtieron al fin en profesiones con sus propias formas institucionales.[25] Fenómenos parecidos ocurrieron dentro de los nuevos campos baconianos, sólo que con menos notoriedad y más lentitud, y uno de los resultados de ello fue la distensión de los vínculos que hasta entonces los habían mantenido unidos. En particular, la química se convirtió a mediados de siglo en una profesión intelectual autónoma, vinculada todavía a la industria y a otros campos experimentales, pero con plena identidad. En parte por estas razones institucionales y en parte por el efecto que ejercieron sobre la investigación en química, primero, la teoría atómica de Dalton y, después, la creciente dedicación a los compuestos orgánicos, los conceptos quí-

[25] Everett Mendelsohn, "The Emergence of Science as a Professión in Nineteenth-Century Europe", en Karl Hill, compilador, *The management of Scientists* (Boston, 1964).

micos se apartaron rápidamente de los empleados en física. Mientras esto ocurría, temas como el calor y la electricidad fueron abandonados por la química y entregados a la filosofía experimental o a un campo nuevo, la física, que estaba a punto de encontrar su lugar.

Otra importante fuente de cambio durante el siglo XIX fue la modificación gradual en la identidad percibida de las matemáticas. Quizá hasta mediados de siglo, materias como la mecánica celeste, la hidrodinámica, la elasticidad y las vibraciones de los medios continuos y discontinuos fueron el centro de la investigación matemática profesional. Setenta y cinco años después, tales materias se habían convertido en "matemáticas aplicadas", áreas distintas —y por lo general de posición inferior— de los asuntos más abstractos de las "matemáticas puras" que habían venido a ser la parte medular de esta disciplina.

Aunque cursos como los de mecánica celeste y hasta la teoría electromagnética se siguieron enseñando todavía en las facultades de matemáticas, se habían convertido en cursos secundarios, cuyos temas no estaban comprendidos ya dentro de las fronteras del pensamiento matemático.[26] Es preciso estudiar la separación resultante entre la investigación en matemáticas y la correspondiente a las ciencias físicas, tanto en sí misma como por el efecto que ejerció en el desarrollo de estas últimas. Tal necesidad se impone por una razón doble: porque ocurrió de maneras diferentes y a diferentes velocidades en países diferentes, factor del desarrollo de otras diferencias nacionales que analizaré en seguida.

Una tercera variedad de cambio, que viene especialmente al caso de las materias analizadas en este ensayo, fue la matematización, notablemente rápida y completa, de numerosos campos baconianos durante el primer cuarto del siglo XIX. Entre los asuntos que constituyen ahora la materia de la física, únicamente la mecánica y la hidrodinámica habían exigido conocimientos de matemáticas superiores antes de 1800. En general, eran más que suficientes los elementos de geometría, trigonometría y álgebra. Veinte años más tarde, los trabajos de Laplace, Fourier y Sadi Carnot hicieron que las matemáticas superiores fuesen esenciales para el estudio del calor; Poisson y Ampère habían hecho lo mismo en cuanto a la electricidad y el magnetismo; y

[26] Se encuentran colecciones pertinentes a la relación de las matemáticas y la física matemática en Inglaterra, Francia y los Estados Unidos durante la década de los veinte, en las entrevistas con Leon Brillouin, E.C. Kemble y N. F. Mott, depositadas en varios archivos para la Historia de la Física Cuántica. Para informes sobre estos depósitos, véase T. S. Kuhn, J. L. Heilbron, P. F. Forman y Lini Allen, *Sources for History of Quantum Physics: An Inventory and Report* (Filadelfia, 1967).

Jean Fresnel, con sus seguidores inmediatos, acababa de hacer lo propio en el campo de la óptica. Sólo cuando sus nuevas teorías matemáticas se aceptaron como modelos, una profesión con una identidad como la de la física moderna se convirtió en una de las ciencias. Su surgimiento exigió que se echaran abajo las barreras, tanto conceptuales como institucionales, que habían mantenido separados los campos clásicos y baconianos.

Por qué y cuándo se abatieron esas barreras, es un problema que requiere de muchas más investigaciones. Pero la parte principal de la respuesta reside, sin duda, en el desarrollo interno de los campos pertinentes durante el siglo XVIII. Las teorías cualitativas, matematizadas tan rápidamente después de 1800, habían nacido apenas hacia 1780. La teoría de Fourier exigía el concepto de calor específico y la separación sistemática y consecuente de las nociones de calor y temperatura. Las contribuciones de Laplace y Carnot a la teoría térmica requirieron además el reconocimiento del calor adiabático, a fines del siglo. La matematización de las teorías electrostática y magnética, iniciada por Poisson, fue posible gracias a los trabajos previos de Coulomb, la mayoría de los cuales apareció apenas en la década de 1790.[27] La descripción matemática de la interacción entre corrientes eléctricas la realizó Ampère casi simultáneamente a su descubrimiento de los efectos tratados en su teoría. Avances recientes ocurridos en las técnicas matemáticas favorecieron en especial la matematización de las teorías eléctrica y térmica. Quizá con excepción de la óptica, los artículos que entre 1800 y 1825 hicieron que campos antes experimentales se volviesen por entero matemáticos no podrían haber sido escritos dos décadas antes de que comenzara la tendencia a la matematización.

Pero el desarrollo interno, en especial de los campos baconianos, no explica la forma en que se introdujeron las matemáticas después de 1800. Como lo sugieren los nombres de los autores de las nuevas teorías, los primeros matematizadores fueron todos franceses. Exceptuando algunos artículos de George Green y Gauss, al principio poco conocidos, no ocurrió nada por el estilo en ninguna otra parte antes de la década de 1840, en que los ingleses y los alemanes comenzaron

[27] Se consideran algunos aspectos sobre el problema de matematizar la física en Kuhn, "The Function of Measurement in Modern Physical Science", *Isis*, 52 (1961): 161-193, en donde se publicó por primera vez la distinción entre ciencias clásicas y baconianas. Otros se encuentran en Robert Fox, *The Caloric Theory of Gases from Lavoisier to Regnault* (Oxford, 1971).

tardíamente a adoptar y a adaptar el ejemplo puesto por los franceses una generación antes. Quizá haya factores institucionales e individuales que expliquen ese temprano liderazgo francés. En la década de 1760, con los nombramientos de Nollet y luego de Monge como profesores de *physique expérimentale* en la *École du Génie*, de Mézières, los temas baconianos comienzan a introducirse, al principio con lentitud y luego rápidamente, en la educación de los ingenieros militares franceses.[28] Tal movimiento culmina con el establecimiento, en la década de 1790, de la *École polytechnique*, nueva clase de institución educativa en que se les empezaron a impartir a los estudiantes no únicamente materias clásicas pertinentes a las *arts mécaniques* sino también las relativas a la química, el estudio del calor y otras semejantes. Tal vez no sea accidental que todos los que produjeron teorías matemáticas sobre campos primeramente experimentales hayan sido profesores o estudiantes de la *École polytechnique*. También de gran importancia para la dirección tomada por sus trabajos fue el liderazgo magistral de Laplace, quien extendió la física matemática de Newton a temas no matemáticos.[29]

Por razones que en la actualidad son tan oscuras como controvertidas, la práctica de la nueva física comenzó a declinar rápidamente en Francia después de 1830. Esto obedeció en parte a un decaimiento general de la vitalidad de la ciencia francesa, pero un factor más importante fue quizá el de la reafirmación de la primacía tradicional de las matemáticas, las cuales, después del medio siglo, se alejaron de los intereses concretos de la física. Como después de 1850 la física se volvió por entero matemática, pero sin dejar de depender del experimento cuidadoso, las contribuciones francesas declinaron durante un siglo hasta un nivel sin precedente en campos anteriormente comparables como el de la química y las matemáticas.[30] La física exi-

[28] Información pertinente se encontrará en René Taton, "L'école royale du génie de Mézières", en R. Taton, compilador, *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e Siècle* (París, 1964), pp. 559-615.

[29] R. Fox, "The Rise and Fall of Laplacian Physics", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 4 (1976): 89-136; R. H. Silliman, "Fresnel and the Emergence of Physics as a Discipline", *ibid.*, pp. 137-162.

[30] Información pertinente así como guía a la literatura, aún dispersa, sobre este asunto, se encontrará en R. Fox, "Scientific Enterprise and the Patronage of Research in France, 1800-1870", *Minerva* 11(1973):442-473; H. W. Paul, "La science française de la seconde partie du XIX^e siècle vue par les auteurs anglais et américains", *Revue d'histoire des sciences*, 27(1974): 147-163. Nótese, sin embargo, que ambas se ocupan de la alegada disciplina en la ciencia francesa en su conjunto, efecto seguramente menos pronunciado

gía —pero no así otras ciencias— el establecimiento de un puente firme que salvara la brecha clásica-baconiana.

Lo que había empezado en Francia durante el primer cuarto del siglo XIX tuvo que ser recreado en otras partes, al principio en Alemania e Inglaterra después de la segunda mitad de la década de 1840. En ambos países, como era de esperarse, existían formas institucionales que al principio inhibieron el culto de un campo dependiente de la fácil comunicación entre profesionales del experimento, por una parte, y de las matemáticas, por la otra. Parte del éxito obtenido en Alemania —atestiguado por el papel preponderante de los alemanes en las transformaciones conceptuales de la física realizadas en el siglo XX— debe atribuirse al rápido crecimiento y a la consecuente plasticidad de las instituciones educativas alemanas durante los años en que hombres como Neumann, Weber, Helmholtz y Kirchhoff estuvieron creando una nueva disciplina en que tanto teóricos experimentalistas como matemáticos se asociarían como profesionales de la física.[31]

Durante las primeras décadas de este siglo, este modelo alemán se propagó rápidamente al resto del mundo. En tanto, la añeja división entre la física matemática y la experimental se fue haciendo cada vez menos notoria, hasta casi desaparecer. Pero, desde otro punto de vista, quizá sea más exacto decir que fue desplazada, desde una posición entre campos distintos al interior de la propia física, lugar desde el cual continúa siendo fuente de tensiones tanto individuales como profesionales. Creo que sólo porque la teoría física es ahora enteramente matemática es que las físicas teórica y experimental parecen ser empresas tan diferentes que casi nadie puede tener la esperanza de alcanzar en ambas el rango de eminencia. Tal dicotomía entre experimento y teoría no ha caracterizado a campos como los de la química o la biología, en los cuales la teoría es menos intrínsecamente matemática. Quizá, por lo tanto, arraigada en la naturaleza de la mente humana[32] persista la brecha entre ciencia matemática y ciencia experimental.

y quizá muy distinto de la declinación de la física francesa. Mis conversaciones con Fox han fortalecido mis convicciones y me han ayudado a organizar mis comentarios sobre estos puntos.

[31] Russel McCormmach, "Editor's Foreword", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3 (1971): IX-XXIV.

[32] Otros fenómenos comentados frecuentemente, pero poco investigados todavía, indican también que esta división puede ser de origen psicológico. Muchos matemáticos y físicos *teóricos* se han interesado y dedicado apasionadamente a la música, al grado de que a muchos de ellos se les ha hecho difícil elegir entre una carrera musical y una

científica. Tal grado de apasionamiento no se observa en las ciencias experimentales, incluida la física experimental —tampoco, creo, en otras disciplinas sin relación evidente con la música—. Pero la música, o parte de ella, formó parte en otros tiempos del conjunto de las ciencias matemáticas, nunca de las experimentales. Probablemente revele algo más estudiar a fondo una distinción sutil que a veces hacen los físicos: la que hay entre un físico "matemático" y un físico "teórico". Ambos emplean matemáticas, a menudo en los mismos problemas, pero el primero tiende a tomar el problema de física como está fijado conceptualmente a idear poderosas técnicas matemáticas para aplicarlas a él. El segundo piensa más en términos de física, adaptando la concepción de su problema a los instrumentos matemáticos de que dispone, los cuales, a menudo, son limitados. Lewis Pyenson, a quien le agradezco sus útiles comentarios a mi primer borrador, está desarrollando ideas interesantes sobre la evolución de esa distinción.

IV. LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA COMO EJEMPLO DE DESCUBRIMIENTO SIMULTÁNEO*

ENTRE 1842 y 1847, cuatro científicos dispersos por toda Europa, Mayer, Joule, Colding y Helmholtz, y, salvo este último, ignorando cada uno de ellos el trabajo de los demás, hicieron pública la hipótesis de la conservación de la energía.[1] La coincidencia es conspicua, a pesar de que los cuatro anuncios son singulares únicamente en lo que respecta a combinar la generalidad de la formulación con aplicaciones cuantitativas concretas. Sadi Carnot, antes de 1832, Marc Séguin en 1839, Karl Holtzmann en 1845 y G. A. Hirn en 1854, escibieron cada quien por su lado sus convicciones de que el calor y el trabajo son equivalentes cuantitativamente y calcularon un coeficiente de conversión o un equivalente.[2] La equivalencia del calor y del trabajo no es,

* Reimpreso con autorización de Marshall Clagett, compilador, *Critical Problems in the History of Science* (Madison: University of Wisconsin Press, 1959), pp. 321-356. *Copyright* 1959, de Regents of the University of Wisconsin.

[1] J. R. Mayer, "Bemerkungen über die Kräfte der unbelebten Natur", *Ann. d. Chem. u. Pharm.*, vol. 42 (1842). Usé la reimpresión que se halla en la excelente colección de J. J. Weyrauch, *Die Mechanik der Wärme in gesammelten Schriften von Robert Mayer* (Stuttgart, 1893), pp. 23-30. Este volumen se cita más adelante como Weyrauch, I. Al volumen compañero, del mismo autor, *Kleinere Schriften und Briefe von Robert Mayer* (Stuttgart, 1893), lo cito como Weyrauch, II.

James P. Joule, "On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat", *Phil. Mag.*, vol. 23 (1843). Usé la versión publicada en *The Scientific Papers of James Prescott Joule* (Londres, 1884), pp. 123-159. Este volumen se cita más adelante como Joule, *Papers.*

L. A. Colding, "Undersögelse on de almindelige Naturkraefter og deres gjensidige Afhaengighed og isaerdeleshed om den ved visse faste Legemers Gnidning udviklede Varme", *Dansk. Vid. Selsk.*, 2 (1851): 121-146. Le agradezco a Miss Kirsten Emilie Hedebol el haber traducido este artículo. No es, desde luego, tan completo como el original inédito, que Colding leyó en la Real Sociedad de Dinamarca en 1843, pero contiene mucha información sobre ese original. Véase también L. A. Colding, "On the History of The Principle of Conservation of Energy", *Phil. Mag.*, 27 (1864): 56-64.

H. von Helmholtz, *Ueber die Erhaltung der Kraft. Eine physikalische Abhandlung* (Berlín, 1847). Usé la reimpresión anotada de *Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann Helmholtz* (Leipzig, 1882), 1:12-75. Este conjunto se cita como Helmholtz, *Abhandlungen.*

[2] La versión de Carnot, de la hipótesis de la conservación, está dispersa en un libro

desde luego, otra cosa que un caso especial de conservación de energía, pero la generalidad que falta en el segundo grupo de anuncios aparece en otra parte, en la literatura correspondiente a ese periodo.

Entre 1837 y 1844, C. F. Mohr, William Grove, Faraday y Liebig describieron el mundo de los fenómenos como manifestación de una sola "fuerza", que aparecía en formas eléctricas, térmicas, dinámicas

de notas escrito entre la publicación de su memoria en 1824, y la fecha de su muerte, en 1832. La versión más válida de las notas es la de E. Picard, *Sadi Carnot, biographie et manuscript* (París, 1927); una fuente más conveniente es el apéndice de la reciente reimpresión de las *Réflexions sur la puissance motrice du feu* (París, 1953). Obsérvese que Carnot consideró el material de estas notas bastante incompatible con la tesis principal de sus famosas *Réflexions*. En realidad, resultó que eran salvables los elementos esenciales de su tesis, pero fue necesario un cambio tanto en la manera de enunciarla como en la de derivarla.

Marc Séguin, *De l'influence des chemins de fer et de l'art de les construire* (París, 1839), pp. XVI, 380-396.

Karl Holtzmann, *Über die Wärme und Elasticität der Gase und Dämpfe* (Mannheim, 1845). Usé la traducción de W. Francis, que aparece en *Taylor's Scientific Memoirs*, 4 (1846): 189-217. Como Holtzmann creyó en la teoría del calórico y la aplicó en su monografía, es un candidato extraño para una lista de los descubridores de la conservación de la energía. Creía también, sin embargo, que la misma cantidad de trabajo empleada en comprimir isotérmicamente un gas debe producir siempre el mismo aumento de calor en el gas. Como resultado, hizo uno de los primeros cálculos del coeficiente de Joule: de ahí que su obra sea citada repetidamente por los primeros escritores de termodinámica, quienes la ven como componente importante de sus teorías. Es difícil decir que Holtzmann entendió por lo menos en parte la conservación de la energía como se define hoy esa teoría. Pero, para esta investigación del descubrimiento simultáneo, el juicio de sus contemporáneos es más procedente que el nuestro. A varios de ellos, Holtzmann les pareció un participante activo en la evolución de la teoría de la conservación.

G. A. Hirn, "Études sur les principaux phénomènes que présentent les frottements médiats, et sur les diverses manières de déterminer la valeur mécanique des matières employées au graissage des machines", *Bulletin de la societé industrielle de Mulhouse*, 26 (1854): 188-237; y "Notice sur les lois de la production du calorique par les frottements médiats", *ibid*., pp. 238-277. Es difícil creer que Hirn desconociese por completo los trabajos de Mayer, Joule, Helmholtz, Clausius y Kelvin cuando escribió los "Études" en 1854. Pero después de leer su artículo, encuentro por entero convincente su pretensión de haber hecho el descubrimiento independientemente (publicado en la "Notice"). Como en ninguna de las historias ordinarias se citan estos artículos y ni siquiera se reconoce la existencia de la pretensión de Hirn, me parece propio fundamentarla someramente aquí.

La investigación de Hirn está dedicada al estudio de la eficacia relativa de varios lubricantes de máquinas en función de la presión sobre el asiento, la torsión aplicada, etc. Inesperadamente, según él, sus mediciones lo llevaron a la conclusión de que: "La cantidad absoluta de calórico producida por fricción mediada [por ejemplo, la fricción

y muchas otras, pero en todas sus transformaciones nunca podía ser creada ni destruida.[3] Esa llamada fuerza es la única que los científicos posteriores conocen como energía. La historia de la ciencia no ofrece otro caso más sorprendente del fenómeno conocido como descubrimiento simultáneo. Ya nombramos doce hombres que, en un breve intervalo de tiempo, llegaron por sí solos a las partes esenciales del concepto de la energía y conservación. Podría aumentarse ese número, pero por desgracia inútilmente.[4] Esta multiplicidad sugiere suficientemente que en las dos décadas anteriores a 1850 el clima del

que se produce entre dos superficies separadas por un lubricante] es directa y únicamente proporcional al trabajo mecánico absorbido por esa fricción. Y si expresamos el trabajo como los kilogramos elevados a la altura de un metro y la cantidad de calórico en calorías, encontramos que la razón de estos dos números es aproximadamente de 0.0027 [que corresponden a 370 kg x m/cal], independientemente de la velocidad y la temperatura y cualquiera que sea la sustancia lubricante" (p. 202). Casi hasta 1860, Hirn dudó de la validez de la ley con respecto a lubricantes impuros o bien sin lubricación (véanse especialmente sus *Récherches sur l'équivalent mécanique de la chaleur* [París, 1858], p. 83). Pero a pesar de estas dudas, su trabajo muestra evidentemente una de las rutas que, a mediados del siglo XIX, había hacia esta importante parte de la conservación de la energía.

[3] C. F. Mohr, "Ueber die Natur der Wärme", *Zeit. f. Phys.*, 5 (1837): 419-445; y "Ansichten über die Natur der Wärme", *Ann. d. Chem. u. Pharm.*, 24 (1837): 141-147.

William R. Grove, *On the Correlation of Physical Forces: Being the Substance of a Course of Lectures Delivered in the London Institution in the Year 1843* (Londres, 1846). En su primera edición, Grove dice que no ha introducido material nuevo desde que dio las conferencias. Las ediciones posteriores, y más accesibles, están muy revisadas, conforme a su obra ulterior.

Michael Faraday, *Experimental Researches in Electricity* (Londres, 1844), 2:101-104. Las "Seventeenth Series" originales, de las cuales ésta es una parte, fueron leídas en la Real Sociedad en marzo de 1840.

Justus Liebig, *Chemische Briefe* (Heidelberg, 1844), pp. 114-120. Con este trabajo, como con el de Grove, debe uno precaverse contra los cambios introducidos en las ediciones posteriores al reconocimiento de la conservación de la energía como ley científica.

[4] Como algunas de mis conclusiones dependen de la lista de nombres seleccionados para el estudio, me parecen indispensables unas palabras sobre el procedimiento de selección. Traté de incluir a todos los hombres, que, según sus contemporáneos o sus sucesores inmediatos, llegaron independientemente a alguna parte significativa de la conservación de la energía. A este grupo agregué los nombres de Carnot y Hirn, cuyos trabajos, de haberse conocido, hubieran sido considerados dentro de los primeros. Desde el punto de vista de esta investigación, no viene al caso que en la actualidad carezcan de influencia.

Por este procedimiento, se obtuvo la presente lista de 12 nombres, y sólo sé de otros cuatro que podrían haber merecido figurar allí. Tales son: Haller, Rogert, Kaufmann y Rumford. A pesar de la desapasionada defensa que de él hace P. S. Epstein (*Textbook of*

pensamiento científico europeo contenía elementos capaces de guiar a los científicos receptivos hacia un significativo y nuevo punto de vista sobre la naturaleza. Aislando estos elementos dentro de los trabajos de los hombres afectados por ellos podemos descubrir algo acerca de la naturaleza del descubrimiento simultáneo. Ciertamente, podrían fundamentarse los siguientes tópicos, obvios y por entero carentes de significado: "Un descubrimiento científico debe adecuarse a la época", o "La época debe estar madura." El problema es retador. Por consiguiente, el objetivo principal de este artículo es la determinación preliminar de las fuentes del fenómeno llamado descubrimiento simultáneo.

Pero antes de avanzar hacia nuestro objetivo, detengámonos en la frase de "descubrimiento simultáneo". ¿Describe suficientemente el fenómeno que vamos a investigar? En el caso ideal de descubrimiento simultáneo, dos o más hombres anunciarían lo mismo al mismo tiempo y en completa ignorancia del trabajo de cada quien, pero nada ni remotamente parecido ocurrió durante el desarrollo del concepto de

Thermodynamics [Nueva York, 1937], pp. 27-34), Haller no está en la lista. La noción de que la fricción de los fluidos que circulan por las arterias y las venas contribuye a producir calor corporal no implica parte de la noción de la conservación de la energía. Cualquier teoría que explique la producción de calor por fricción debe abarcar la concepción de Haller. Más procedentes son las ideas de Roget, quien partiendo de la imposibilidad del movimiento perpetuo argumenta en contra de la teoría del galvanismo por contacto (véase nota 27). Lo omití sólo porque parece no darse cuenta de la posibilidad de ampliar su argumento y porque sus concepciones las duplica el trabajo de Faraday, quien sí las amplió.

Tal vez debí incluir a Hermann von Kaufmann. Según Georg Helm, su obra es igual a la de Holtzmann (*Die energetik nach ihrer geschichtlichen Entwickelung* [Leipzig, 1898], p. 64). Pero no pude ver los escritos de Kaufmann, y el caso de Holtzmann es ya algo dudoso, por lo que me pareció no sobrecargar la lista. En cuanto a Rumford, cuyo caso es el más difícil de todos, señalaré más adelante que antes de 1825 la teoría dinámica del calor no condujo a sus partidarios hacia la conservación de la energía. Hasta mediados de siglo, no fue necesaria, y ni siguiera probable, la relación entre ambos conjuntos de ideas. Pero Rumford fue algo más que un teórico dinamicista. Dijo también: "Se seguiría necesariamente, de [la teoría dinámica]. . . . que la suma de las fuerzas activas en el universo debe permanecer siempre constante" (*Complete Works* [Londres, 1876], 3:172), y esto suena a conservación de la energía. Quizá lo es. Pero, en caso de que lo sea, Rumford en ningún momento se da cuenta de su significación. No encontré que aplicara o por lo menos repitiera su comentario en otras partes de su obra. Me inclino, pues, a considerar esa frase como eco fácil, propio ante un público francés, del teorema —muy siglo XVIII— de la *vis viva*. Tanto Daniel Bernoulli como Lavoisier y Laplace habían aplicado desde antes ese teorema a la teoría dinámica (véase nota 95) sin llegar a nada parecido a la conservación de la energía. No tengo razón alguna para suponer que Rumford haya visto más lejos que aquéllos.

conservación de la energía. Las violaciones de la simultaneidad y la influencia mutua son secundarias. Pero ninguno de nuestros hombres dijo siquiera la misma cosa. Casi hasta el fin del periodo de descubrimiento, pocos de sus artículos presentan más que semejanzas fragmentarias observables en oraciones y párrafos aislados. Hace falta ser muy diestro en extractar, por ejemplo, para que la defensa que hace Mohr de la teoría dinámica del calor se asemeje a la exposición de Liebig sobre los límites intrínsecos del motor eléctrico. Un diagrama de los pasajes coincidentes que se encuentran en los artículos elaborados por los precursores de la conservación de la energía sería parecido a un crucigrama sin terminar.

Por fortuna, no hace falta diagrama alguno para captar las diferencias esenciales. Algunos precursores, como Séguin y Carnot, analizaron únicamente un caso especial de conservación de la energía, y sus enfoques fueron diferentes. Otros, como Mohr y Grove, anunciaron un principio de conservación universal, pero, como veremos más adelante, sus ocasionales intentos por cuantificar su "fuerza" indestructible dejan en tela de juicio su significado concreto. Solamente por lo que ocurrió después, podemos decir que todas estas declaraciones parciales tratan del mismo aspecto de la naturaleza.[5] Tampoco este

[5] Esto bien puede explicar por qué los precursores parecen no haber aprovechado para nada sus trabajos mutuos, ni siquiera cuando los leyeron. Nuestros doce hombres no fueron estrictamente independientes. Grove y Helmholtz conocieron el trabajo de Joule y lo citaron en sus escritos de 1843 y 1847 (Grove, *Physical Forces*, pp. 39, 52; Helmholtz, *Abhandlungen*, 1:33, 35, 37, 55). Joule, por su parte, conoció y citó el trabajo de Faraday (*Papers*, p. 189). Liebig, aunque no citó a Mohr y a Mayer, debe de haber conocido sus trabajos, pues se publicaron en su propia revista. (Véase también G. W. A. Kahlbaum, *Liebig und Friedrich Mohr, Briefe, 1834-1870* [Braunschweig, 1897], para el conocimiento que tuvo Liebig de la teoría de Mohr.) Es muy posible que con informaciones biográficas más precisas se descubrieran otras relaciones entre ambos.

Pero estas relaciones recíprocas, por lo menos las identificables, parecen no ser importantes. En 1847, parece ser que Helmholtz no conocía la generalidad de las conclusiones de Joule ni la gran medida en que coincidían con las suyas. Solamente cita los hallazgos experimentales de Joule, y eso muy selectiva y críticamente. Hasta las controversias sobre la prioridad, ocurridas en la segunda mitad del siglo, Helmholtz parece no haber conocido el grado en que él mismo se había anticipado. Gran parte de esto es válido también en cuanto a las relaciones entre Joule y Faraday. De éste, Joule tomó ilustraciones, pero no inspiración. El caso de Liebig acaso resulte más revelador. Pudo haberse olvidado de citar a Mohr y a Mayer sencillamente porque éstos no lo ilustraron convenientemente y ni siquiera dan la apariencia de haber tratado el mismo asunto. Es evidente que los hombres a los que podemos llamar los primeros exponentes de la conservación de la energía ocasionalmente pudieron haber leído las obras de los demás, sin darse cuenta de que estaban hablando de las mismas cosas. En cuanto a

problema de los descubrimientos divergentes se restringe a los científicos cuyas formulaciones fueron obviamente incompletas. Mayer, Colding, Joule y Helmholtz no estaban diciendo las mismas cosas en las fechas que se atribuyen generalmente a sus descubrimientos de la conservación de la energía. Algo más que *amor propio* está implícito en la posterior pretensión de Joule de que el descubrimiento que anunció en 1843 fue diferente del publicado por Mayer en 1842.[6] En estos años sus artículos coinciden en partes importantes, pero sus teorías se vuelven sustancialmente coextensivas[7] hasta el libro de Mayer, de 1845, y las publicaciones de Joule, de 1844 y 1847.

En fin, aunque la frase de "descubrimiento simultáneo" indica el tema central de este artículo, tomándola literalmente no lo describe. Aun para el historiador familiarizado con los conceptos de conservación de la energía, los distintos precursores no comunicaron las mismas cosas. Y en esa época, estos últimos definitivamente no se comunicaron entre sí. Lo que vemos en sus trabajos no es realmente el descubrimiento simultáneo de la conservación de la energía; en lugar de ello se aprecia el surgimiento rápido y a menudo desordenado de los elementos conceptuales y experimentales de los cuales, poco tiempo después, se compondría esa teoría. Estos elementos son los que nos interesan. Nosotros sabemos por qué estaban ahí: la energía *se* conserva; la naturaleza se comporta de esa manera. Pero no sabemos por qué estos elementos de pronto se volvieron accesibles y reconocibles. Tal es el problema fundamental de este artículo. ¿Por qué, entre los años 1830 a 1850, llegaron tan a la superficie de la conciencia científica tantos de los experimentos y conceptos necesarios para enunciar íntegramente la conservación de la energía?[8]

esto, el hecho de que muchos de ellos hayan tenido antecedentes profesionales e intelectuales tan distintos puede explicar la poca frecuencia con que revisaron mutuamente sus escritos.

[6] J. P. Joule, "Sur l'équivalent mécanique du calorique", *Comptes rendus*, 28 (1849): 132-135. Usé la reimpresión de Weyrauch, II, pp. 256-280. Ésta es tan sólo la primera salvedad en la controversia sobre la prioridad, pero muestra ya cuál iba a ser el contenido de ésta. ¿Cuál de los dos —y después más de dos— diferentes enunciados es realmente el de *la* conservación de la energía?

[7] J.R. Mayer, *Die organishe Bewegung in ihrem Zusammenhange mit dem Stoffwechsel* (Heilbronn, 1845), en Weyrauch; I, pp. 45-128. Vienen al caso la mayoría de los escritos de Joule, redactados entre 1843 y 1847, pero en especial: "On the Changes of Temperature Produced by the Rarefaction and Condensation of Air" (1845) y "On Matter, Living Force, and Heat" (1847), en *Papers*, pp. 172-189, 265-281.

[8] Esta formulación tiene cuando menos una ventaja considerable sobre la versión usual. No implica ni permite la pregunta de ¿quién descubrió realmente la conservación

Sería fácil tomar esta pregunta como la petición de una lista de todos aquellos factores, casi innumerables, gracias a los cuales cada uno de los precursores pudo hacer un determinado descubrimiento. Interpretada de esta manera, la pregunta no tiene respuesta, por lo menos ninguna que pueda dar el historiador. Pero éste puede intentar otra clase de respuesta. Una inmersión contemplativa en los trabajos de los precursores y sus contemporáneos puede revelar un subconjunto de factores que parezcan más significativos que otros, por su frecuente recurrencia, su especificidad con respecto al periodo, y el efecto decisivo sobre la investigación individual.[9] El grado de mi familiaridad con la literatura de este campo no me permite, por ahora, juicios definitivos. Sin embargo, estoy seguro ya de dos factores, y sospecho la pertinencia de otro más. Les llamaré "disponibilidad de procesos de

de la energía? Como lo ha demostrado un siglo de fructíferas controversias, con una extensión o una restricción convenientes de la definición de la conservación de la energía, ya no sería posible concederle el triunfo a ninguno de los precursores, una indicación más de que ellos no pudieron haber descubierto la misma cosa.

Esta formulación impide también otra pregunta: ¿Faraday (o Séguin, o Mohr o cualquier otro de los precursores) captó realmente el concepto de conservación de la energía, por lo menos intuitivamente? ¿Merece estar en la lista de los precursores? Estas preguntas no tienen ninguna respuesta válida, como no sea según el gusto de quien las conteste. Pero, independientemente de la que dicte el gusto, el caso de Faraday (o Séguin, etc.) da una buena muestra de las fuerzas que impulsaron hacia el descubrimiento de la conservación de la energía.

[9] Estos tres criterios, especialmente el segundo y el tercero, determinan la orientación de este estudio, de una manera que no se evidencia de inmediato. Alejan la atención de las *condiciones esenciales previas* al descubrimiento de la conservación de la energía y la dirigen hacia lo que podría llamarse los *factores desencadenadores* a los que obedeció el descubrimiento simultáneo. Por ejemplo, las páginas siguientes mostrarán, implícitamente, que todos los precursores hicieron uso significativo de los elementos conceptuales y experimentales de la calorimetría y que muchos de ellos confiaron en los nuevos conceptos químicos procedentes del trabajo de Lavoisier y sus contemporáneos. Presumiblemente, tuvieron que ocurrir éstos y muchos otros avances dentro de la ciencia, antes de que pudiera descubrirse la conservación de la energía tal y como la conocemos ahora. Sin embargo, no aislé explícitamente aquí los elementos de esta índole, porque, al parecer, no sirven para distinguir a los precursores de sus antecesores. Ya que tanto la calorimetría como la química nueva eran propiedad común de todos los científicos desde años antes de la época del descubrimiento simultáneo, no pueden haber suministrado los estímulos inmediatos que desencadenaron el trabajo de los precursores. Como condiciones esenciales previas para el descubrimiento, tienen en sí interés e importancia. Pero no es probable que, estudiándolos, se aclare mucho el problema del descubrimiento simultáneo, al cual se dedica este artículo. [Se agregó esta nota al manuscrito original en respuesta a los puntos que se plantearon durante la discusión que siguió a la exposición oral.]

conversión", el "interés por las máquinas" y la "filosofía de la naturaleza". Los trataré en este orden.

La disponibilidad de los procesos de conversión resultó primordialmente de la corriente de descubrimientos que surgió a raíz de la invención de la pila eléctrica, realizada por Volta en 1800. De acuerdo con la teoría del galvanismo que prevalecía por lo menos en Francia y en Inglaterra, se obtenía corriente eléctrica a expensas de las fuerzas de afinidad química, y esta conversión resultó ser tan sólo el primer eslabón de una cadena.[10] La corriente eléctrica invariablemente producía calor y, en condiciones adecuadas, también luz. O bien, por electrólisis, tal corriente podía vencer a las fuerzas de la afinidad química, convirtiendo así en un círculo la cadena de transformaciones. Éstos fueron los primeros frutos del trabajo de Volta; otros descubrimientos de conversión más importantes siguieron ocurriendo década y media después de 1820.[11] En ese año, Oersted demostró los efectos magnéticos de una corriente eléctrica; a su vez, el magnetismo podía producir movimiento, y desde mucho tiempo atrás se sabía que éste podía producir electricidad por fricción. Así se cerraba otra cadena de conversiones. Entonces, en 1822, Seebeck demostró que el calor aplicado a una cinta bimetálica producía directamente una corriente eléctrica. Doce años después, Peltier invirtió este extraordinario ejemplo de conversión, demostrando que, en ocasiones, la corriente podía absorber calor y de esa manera producir frío. Las corrientes inducidas, descubiertas por Faraday en 1831, fueron apenas otro miembro de una clase de fenómenos ya característicos de la ciencia del siglo XIX. En la década después de 1827, el progreso de la fotografía

[10] En los escritos de Faraday hay información dispersa pero útil sobre el progreso de la importante controversia que se suscitó entre los exponentes de las teorías del galvanismo químico y por contacto (*Experimental Researches*, 2:18-20). De acuerdo con su relación, la teoría química predominó en Francia y en Inglaterra, cuando menos desde 1825 en adelante, pero la teoría del contacto predominaba en Alemania y en Italia todavía en 1840, época de los escritos de Faraday. ¿El predominio de la teoría del contacto en Alemania explicará la manera, sorprendente por cierto, como Mayer y Helmholtz pasaron por alto la batería en sus explicaciones de las transformaciones de energía?

[11] Para los descubrimientos siguientes, véase Sir Edmund Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. 1, *The Classical Theories*, 2ª ed. (Londres, 1951), pp. 81-84, 88-89, 170-171, 236-237. Sobre el descubrimiento de Oersted, véase también R. C. Stauffer, "Persistent Errors Regarding Oersted's Discovery of Electromagnetism", *Isis*, 44 (1953): 307-310.

añadió otro ejemplo más todavía, y cuando Melloni identificó la luz con el calor radiante se confirmó la antigua sospecha de que existía una conexión fundamental entre otros dos aspectos en apariencia dispares de la naturaleza.[12]

Antes de 1800, ya existían algunos procesos de conversión. El movimiento ya había producido cargas electrostáticas, y las atracciones y repulsiones resultantes habían producido movimiento. Los generadores electrostáticos habían desencadenado ocasionalmente reacciones químicas, entre ellas disociaciones, y las reacciones químicas habían producido tanto luz como calor.[13] Aprovechado por la máquina de vapor, el calor podía producir movimiento, y éste, a su vez, generaba calor por fricción y percusión. Sin embargo, en el siglo XVIII éstos fueron fenómenos aislados; pocos de ellos parecieron de importancia capital para la investigación científica; y esos pocos fueron estudiados por grupos diferentes. Apenas en la década de 1830, cuando tales fenómenos fueron considerados de la misma categoría que los muchos otros ejemplos descubiertos en rápida sucesión por los científicos del siglo XIX, aquéllos comenzaron a ser conceptuados como procesos de conversión.[14] Por esa época, en el laboratorio, los científicos estaban pasando inevitablemente de toda una variedad de fenómenos químicos, térmicos, eléctricos, magnéticos o dinámicos a fenómenos de cualquiera de los demás tipos, y así también a fenómenos ópticos. Problemas tradicionalmente distintos fueron ganando interrelaciones múltiples, y eso es lo que Mary Sommerville tenía en mente cuando, en 1834, le dio a su famosa obra de popularización de la ciencia el título de *On the Connexion of the Physical Sciences*. "El progreso de la ciencia moderna", decía en su prefacio, "especialmente en los últimos cinco años, se ha caracterizado por una tendencia a. . . unir ramas aisladas [de la ciencia, de manera que hoy] . . . existe un lazo de unión, y ya no se puede ser eficiente en una sola rama sin conocer las otras."[15] El comentario de Mary Sommerville aísla la "nueva visión" que la ciencia física había adquirido entre 1800 y 1835. Esa nueva visión, junto con

[12] F. Cajori, *A History of Physics* (Nueva York, 1922), pp. 158, 172-174. Grove hace un punto particular de los primeros procesos fotográficos (*Physical Forces*, pp. 27-32). Mohr hace destacar el trabajo de Melloni (*Zeit. f Phys*, 5 [1837]: 419).

[13] Sobre los efectos químicos de la electricidad estática, véase Whittaker, *Aether and Electricity*, 1:74, n. 2.

[14] La única excepción es significativa y se analiza con alguna amplitud más adelante. Durante el siglo XVIII, se consideró a las máquinas de vapor dispositivos de conversión.

[15] Mary Sommerville, *On the Connexion of the Physical Sciences* (Londres, 1834), prefacio sin paginación.

los descubrimientos que produjo, resultó ser el requisito principal para el surgimiento de la conservación de la energía.

Pero, precisamente porque produjo una "visión" en lugar de un determinado fenómeno de laboratorio, definido claramente, la existencia de los procesos de conversión hace que el desarrollo de la conservación de la energía tome toda una variedad de rumbos. Faraday y Grove llegaron a una idea muy cercana a la de la conservación, estudiando el conjunto entrelazado de todos los procesos de conversión. Para ellos, la conservación fue literalmente una racionalización del fenómeno que Mary Sommerville describió como la nueva "conexión". C. F. Mohr, por otro lado, adoptó la idea de *conservación* de una fuente muy distinta, quizá metafísica.[16] Pero, como veremos más adelante, sólo porque intentó dilucidar y defender esta idea en los términos de los nuevos procesos de conversión, la concepción inicial de Mohr terminó por ser vista como conservación de la *energía*. Mayer y Helmholtz presentan todavía un enfoque más. Comenzaron aplicando sus conceptos de conservación a bien conocidos fenómenos antiguos. Pero hasta que extendieron sus teorías para abarcar los nuevos descubrimientos, no desarrollaron la misma teoría que, por ejemplo Mohr y Grove. Otro grupo más, el de Carnot, Séguin, Holtzmann y Hirn, desatendió por completo los nuevos procesos de conversión. Pero estos personajes no habrían sido descubridores de la conservación de la energía si científicos como Joule, Helmholtz y Colding no hubieran demostrado que los fenómenos térmicos que manejaban estos ingenieros del vapor eran partes integrales de la nueva red de conversiones.

Creo que hay una excelente razón para que estas relaciones sean tan complejas y variadas. Desde cierto punto de vista, muy importante y que será precisado más tarde, la conservación de la energía es nada menos que la contraparte teórica de los procesos de conversión de laboratorio, descubiertos durante las primeras cuatro décadas del siglo XIX. Cada conversión de laboratorio corresponde, en la teoría, a una transformación de forma de energía. Por eso, como ya veremos, Grove y Faraday pudieron deducir la conservación partiendo de la red de conversiones de laboratorio. Pero el propio homomorfismo que hay entre la teoría, la conservación de la energía y la ya existente red de procesos de conversión de laboratorio indica que no era necesario empezar por entender la trama en conjunto. Liebig y Joule, por ejem-

[16] Se examinarán en seguida (nota 83) las razones para distinguir el enfoque de Mohr del de Faraday y el de Grove. En el texto correspondiente, se considerarán las posibles fuentes de la convicción de Mohr sobre la conservación de la "fuerza".

plo, partieron de un solo proceso de conversión y la conexión entre las ciencias los guió a través de toda la red. Mohr y Colding empezaron con una idea metafísica y la transformaron aplicándola a la red. En fin, precisamente porque los nuevos descubrimientos del siglo XIX formaron una red de conexiones entre partes de la ciencia, que anteriormente estaban separadas, aquéllos pudieron ser tomados, bien uno por uno, bien en combinación, en una gran variedad de modos y, aun así, condujeron al mismo resultado final. Creo que eso explica por qué estos científicos pudieron abordar la investigación de los precursores, de maneras tan diferentes. Lo más importante es que explica por qué las investigaciones de los precursores, a pesar de lo variado de sus puntos de partida, terminaron por converger a un resultado común. Lo que Mary Sommerville llamó conexiones nuevas entre las ciencias resultó ser frecuentemente el vínculo que unía enfoques y enunciaciones dispares en un solo descubrimiento.

La secuencia de las investigaciones de Joule ilustra claramente la forma en que la red de procesos de conversión delimitó realmente el terreno experimental de la conservación de la energía y, con ello, suministró los vínculos esenciales entre los diversos precursores. Cuando en 1838 Joule comenzó a escribir, su interés exclusivo por el diseño de motores eléctricos perfeccionados lo aisló de los demás precursores de la conservación de la energía, con excepción de Liebig. Estaba trabajando sencillamente en uno de los muchos problemas nuevos surgidos por los descubrimientos del siglo XIX. Hacia 1840, sus evaluaciones sistemáticas de los motores en función del trabajo y el rendimiento establecen un vínculo con las investigaciones de los ingenieros del vapor, Carnot, Séguin, Hirn y Holtzmann.[17] Pero estas conexiones se desvanecieron en 1841 y 1842, cuando Joule, desalentado con el diseño del motor, se vio forzado a desplazarse hacia la búsqueda de un perfeccionamiento fundamental de las baterías que impulsaban a dicho motor. Se interesó, entonces, en los nuevos descubrimientos de la química, y adoptó en su totalidad la idea de Faraday acerca de la función esencial de los procesos químicos en el galvanismo. Además, en estos años su investigación se concentró en lo que

[17] Los primeros once apartados de los *Papers* de Joule (pp. 1-53) están dedicados exclusivamente al perfeccionamiento, primero, de los motores y, seguidamente, de los electromagnetos; estos apartados abarcan el periodo de 1838-1841. Las evaluaciones sistemáticas de los motores en función de los términos de ingeniería "trabajo" y "rendimiento" aparecen en las pp. 21-25, 48. Sobre el uso del concepto de trabajo, publicado por primera vez por Joule, véase p. 4.

resultó tener dos de los numerosos procesos de conversión seleccionados por Grove y Mohr para ilustrar su hipótesis tan vaga como metafísica.[18] Las conexiones con el trabajo de otros precursores comienzan a aumentar uniformemente.

En 1843, impulsado por el descubrimiento de un error en su trabajo anterior con las baterías, Joule reintrodujo el motor y el concepto de trabajo mecánico. Así se estableció el vínculo con la ingeniería del vapor al mismo tiempo que los artículos de Joule comenzaron a leerse como investigaciones de relaciones de energía.[19] Pero incluso en 1843 la semejanza con la conservación de la energía era incompleta. Hasta que Joule encontró otras conexiones nuevas durante los años 1844 a 1847, su teoría no abarcó realmente las concepciones de personajes tan dispares como Faraday, Mayer y Helmholtz.[20] Partiendo de un problema aislado, Joule había trazado involuntariamente gran parte del tejido conjuntivo entre los descubrimientos del siglo XIX. Al hacerlo así, su trabajo se vinculó cada vez más con el de otros precursores, y únicamente cuando se manifestaron muchos de tales vínculos su descubrimiento fue el de la conservación de la energía.

El trabajo de Joule muestra que la conservación de la energía pudo ser descubierta partiendo de un solo proceso de conversión y trazando la red total. Pero, como ya se indicó, ésa no es la única manera como los procesos de conversión llevaron al descubrimiento de la conservación de la energía. C. F. Mohr, por ejemplo, estableció probablemente su concepto inicial de conservación partiendo de una fuente independiente de los nuevos procesos de conversión, pero entonces se valió de los nuevos descubrimientos para esclarecer y elaborar sus ideas. En 1839, ya para finalizar una defensa, larga y a menudo incoherente, de la teoría dinámica del calor, Mohr exclamó súbitamente: "Además de los cincuenta y cuatro elementos químicos conocidos, hay, en la naturaleza de las cosas, no más que otro agente, y éste es lo que llamamos fuerza; pudo parecer en varias circunstancias como movimiento, afinidad química, cohesión, electricidad, luz, calor y magnetismo, y partiendo de cualquiera de estos tipos de fenómenos puede

[18] El interés de Joule por las baterías y especialmente por la producción de calor mediante baterías eléctricas predomina en sus cinco contribuciones principales que aparecen en sus *Papers*, pp. 53-123. Mi comentario de que Joule se interesó por las baterías al decepcionarse del diseño de motores es sólo una conjetura, pero parece ser extremadamente probable.

[19] Véase nota 1. Éste es el escrito en donde, según se acostumbra decir, Joule anunció la conservación de la energía.

[20] Véase nota 7.

llegarse a todos los demás."[21] Un conocimiento de la conservación de la energía hace clara la importancia de estos enunciados. Pero, sin tal conocimiento, esas afirmaciones prácticamente carecerían de sentido, de no haber pasado Mohr inmediatamente a dos páginas sistemáticas de ejemplos experimentales. Desde luego, estos experimentos fueron precisamente los viejos y los nuevos procesos de conversión. Los nuevos precedían a los viejos y eran esenciales para la argumentación de Mohr. Tan sólo especifican su materia de investigación y muestran su estrecha similitud con la de Joule.

Mohr y Joule ilustran dos de las formas en que los procesos de conversión pudieron afectar los descubrimientos de la conservación de la energía. Pero, como lo indicará mi ejemplo final tomado de los trabajos de Faraday y Grove, ésas no son las únicas maneras. Aunque Faraday y Grove llegaron a conclusiones semejantes a las de Mohr, el camino seguido para ello no incluye ninguno de los mismos saltos repentinos. A diferencia de Mohr, parecen haber deducido la conservación de la energía directamente de los procesos de conversión experimentales que habían investigado por sí mismos. Como la ruta de ellos es continua, es en sus trabajos en donde aparece con más claridad el homomorfismo de la conservación de la energía con respecto a los nuevos procesos de conversión.

En 1834, Faraday concluyó una serie de cinco conferencias sobre los nuevos descubrimientos realizados en química y galvanismo, agregando otra sobre "Las relaciones de la afinidad química, la electricidad, el calor, el magnetismo y otras fuerzas de la materia". En sus notas describe el tema de su última conferencia con las siguientes palabras: "No podemos decir que una sola [de estas fuerzas] sea la causa de las otras, sino tan sólo que éstas se hallan relacionadas entre sí y obedecen a una causa." Para ilustrar la conexión, Faraday dio nueve demostraciones experimentales de "la producción de una [fuerza] partiendo de otra, y viceversa".[22] Los enunciados de Grove parecen ser paralelos. En 1842, este último incluyó un comentario casi idéntico al de Faraday en una conferencia que tuvo el significativo título de "Sobre los progresos de la física".[23] Al año siguiente, amplió

[21] *Zeit. f. Phys.*, 5 (1837): 442.

[22] Bence Jones, *The Life and Letters of Faraday* (Londres, 1870), 2:47.

[23] *A Lecture on the Progess of Physical Science since the Opening of the London Institution* (Londres, 1842). Aunque en la portada aparece la fecha de 1842, en seguida de ésta se lee el dato: "[No publicado]". No sé cuándo se efectuó realmente la primera impresión, pero en el prólogo del autor se indica que el texto fue escrito poco después de la conferencia.

su comentario aislado en su famosa serie de conferencias *On the correlation of Physical Forces*. "La posición que pretendo establecer en este ensayo", dijo, "es la de que [cualquiera] de los varios e imponderables agentes. . . por ejemplo, el calor, la luz, la electricidad, el magnetismo, la afinidad química y el movimiento, . . . puede, como fuerza, producir o ser convertido en los otros; así, el calor puede producir, mediata o inmediatamente, electricidad; ésta puede producir calor; y así sucesivamente."[24]

Éste es el concepto de la convertibilidad universal de las fuerzas naturales y no es, seamos claros, lo mismo que la noción de conservación. Pero la mayoría de los pasos restantes resultó ser pequeña y bastante obvia.[25] Tales pasos, que se analizarán más adelante, salvo uno, pueden darse aplicando al concepto de convertibilidad universal las etiquetas filosóficas, de utilidad perenne, acerca de la igualdad de la causa y el efecto o la imposibilidad del movimiento perpetuo. Como cualquier fuerza puede producir a cualquier otra *y ser producida por ella*, la igualdad de causa y efecto exige una equivalencia cuantitativamente uniforme entre cada par de fuerzas. No habiendo tal equivalencia, entonces una serie de conversiones, elegida adecuadamente, producirá la creación de la fuerza, esto es, el movimiento perpetuo.[26] En todas sus manifestaciones y conversiones, debe conservarse la energía. Esta toma de conciencia no llegó de una sola vez, ni completa ni con absoluto rigor lógico. Pero llegó.

Aunque no logró una concepción general de los procesos de conversión, Peter Mark Roget impugnó en 1829 la teoría de Volta sobre el galvanismo, basada en el contacto, porque ésta implicaba la creación de energía a partir de la nada.[27] Independientemente, Faraday reprodujo en 1840 la discusión y la aplicó de inmediato a las conversiones en general. "Tenemos", dijo, "muchos procesos en los cuales la forma de la energía cambia tanto, que ocurre una evidente *conversión* de una energía en otra. . . Pero en ningún caso. . . hay la pura creación de fuerza; la producción de energía sin el correspondiente gasto de algo que alimente el proceso."[28]

[24] *Physical Forces*, p. 8.

[25] Las razones para llamarles "obvios" a los pasos restantes se da en los párrafos finales de este artículo (véase nota 92).

[26] En rigor, esta derivación es válida sólo cuando todas las transformaciones de energía son reversibles, cosa que no son. Pero los precursores no se dieron cuenta de esa falla lógica.

[27] P. M. Roget, *Treatise on Galvanism* (Londres, 1829). Sólo vi el extracto citado por Faraday, *Experimental Researches*, 2:103, n. 2.

[28] *Experimental Researches*, 2:103.

En 1842, Grove inventó de nueva cuenta la argumentación para demostrar la imposibilidad de inducir una corriente eléctrica partiendo del magnetismo estático, y al año siguiente la generalizó más todavía.[29] Si fuera verdad, escribió, "que el movimiento [puede] subdividirse o cambiarse de carácter, de manera que se convierta en calor, electricidad, etc., sería de inferirse que cuando recogemos las fuerzas disipadas y cambiadas y volvemos a convertirlas, debe reproducirse, con la misma velocidad, el movimiento inicial que afecta a la misma cantidad de materia. Y lo mismo debiera ocurrir con el cambio de materia producido por las otras fuerzas".[30] En el contexto del análisis exhaustivo de Grove, acerca de los procesos de conversión conocidos, esta cita es un enunciado total de los componentes de la conservación de la energía, salvo los cuantitativos. Además, Grove sabía lo que faltaba. "El gran problema que todavía persiste, con respecto a la correlación de las fuerzas físicas, escribían, "consiste en el establecimiento de su equivalente en energía, o su relación mensurable conforme a una norma dada."[31] Los fenómenos de conversión podrían no haber llevado a los científicos hasta el enunciado de la conservación de la energía.

El caso de Grove casi encierra en un círculo esta discusión sobre los procesos de conversión. En sus conferencias, la conservación de la energía parece ser el correlato teórico de los descubrimientos de laboratorio realizados en el siglo XIX, y tal fue la sugerencia de la cual partió. Es verdad que únicamente dos de los precursores infirieron sus versiones de la conservación de la energía partiendo exclusivamente de estos descubrimientos. Pero, como tal inferencia era posible, cada uno de los precursores fue afectado decisivamente por la existencia de los procesos de conversión. Seis de ellos se refieren a los nuevos descubrimientos desde el principio mismo de sus investigaciones. Sin tales descubrimientos, Joule, Mohr, Faraday, Grove, Liebig y Colding de ninguna manera estarían en nuestra lista.[32] Los otros seis precursores demuestran la importancia de los procesos de conversión en una

[29] *Progress of Physical Science*, p. 20.

[30] *Physical Forces*, p. 47.

[31] *ibid.*, p. 45.

[32] No estoy muy seguro de que esto se aplique a Colding, en especial porque no he visto su escrito inédito de 1843. Las primeras páginas de su artículo de 1851 (nota 1) contienen muchos ejemplos de procesos de conversión y sugieren el enfoque de Mohr. Al mismo tiempo, Colding fue protegido de Oersted, cuyo renombre se debe principalmente a su descubrimiento de las conversiones electromagnéticas. Por otro lado, la mayoría de los procesos de conversión citados por Colding data del siglo XVIII. En el caso

forma más sutil, y no menos importante. Mayer y Helmholtz llegaron tarde a los nuevos descubrimientos, pero al conocerlos se convirtieron en candidatos a la misma lista que reúne a los primeros seis. Carnot, Séguin, Hirn y Holtzmann son los más interesantes de todos. Ninguno de ellos llegó siquiera a mencionar los nuevos procesos de conversión. Pero sus contribuciones, todas ellas oscuras, nunca habrían ingresado en la historia, de no haber sido incorporadas a la trama explorada por los personajes que ya examinamos.[33] Cuando los procesos de conversión no gobernaron un determinado trabajo, a menudo rigieron la recepción de dicho trabajo. De no haber existido, el problema del descubrimiento simultáneo tampoco existiría. Lo cierto es que sería una cosa muy diferente.

Sin embargo, la idea que Grove y Faraday extranjeron de los procesos de conversión no es idéntica a lo que los científicos llaman ahora conservación de la energía, y no debemos subestimar la importancia del elemento que falta. Las *Physical Forces*, de Grove, contiene el punto de vista del lego sobre la conservación de la energía. En una versión revisada y aumentada, resultó ser una de las vulgarizaciones más eficaces y buscadas de la nueva ley científica.[34] Pero tal categoría no la alcanzó hasta después de los trabajos de Joule, Mayer, Helmholtz y sus sucesores, quienes le dieron una infraestructura cuantitativa a la concepción de la correlación de fuerzas. Quienquiera que haya penetra-

de Colding, sospecho un vínculo previo entre los procesos de conversión y la metafísica (véase nota 83 y texto correspondiente). Probablemente, ninguno de estos aspectos pueda verse como fundamental, ni en el plano lógico ni en el psicológico, en el desarrollo de su pensamiento.

[33] Las notas de Carnot no se publicaron hasta 1872 y entonces sólo porque contenían anticipaciones a una importante ley científica. Séguin tuvo que llamar la atención hacia los pasajes pertinentes de su libro de 1839. Hirn no se molestó en reclamar su crédito, sino que tan sólo agregó una nota a su escrito de 1854 en la que negaba el cargo de plagiario. Ese escrito se publicó en una revista de ingeniería, y nunca lo he visto citado por ningún científico. El escrito de Holtzmann es la excepción por no ser confuso. Pero si otros científicos no hubiesen descubierto la conservación de la energía, se hubiera seguido viendo la memoria de Holtzmann como otra de las extensiones de la memoria de Carnot, pues básicamente es eso (véase nota 2).

[34] Entre 1850 y 1875, el libro de Grove fue reimpreso por lo menos seis veces en Inglaterra, tres veces en Estados Unidos, dos en Francia y una en Alemania. Sus extensiones fueron numerosas desde luego, pero yo sólo conozco dos revisiones esenciales. En el análisis original del calor (pp. 8-11), Grove indicó que el movimiento macroscópico aparece como calor sólo en la medida en que *no* se transforme en movimiento microscópico. Y, desde luego, los pocos intentos de Grove por cuantificar el fenómeno estuvieron completamente extraviados.

do en el tratamiento matemático y numérico de la conservación de la energía puede preguntarse si, faltando tal infraestructura, Grove hubiera tenido algo que popularizar. La "relación mensurable con respecto a una norma dada" de las diversas fuerzas físicas es un componente esencial de la conservación de la energía como la conocemos, y ni Grove ni Faraday ni Roget ni Mohr fueron capaces de lograrla.

La cuantificación de la conservación de la energía resultó, de hecho, una dificultad insuperable para aquellos precursores cuyo equipo intelectual principal se componía de conceptos relacionados con los nuevos procesos de conversión. Grove pensó que había encontrado la clave para realizar la cuantificación en la ley de Dulong y Petit relativa a la afinidad química y al calor.[35] Mohr creyó que había obtenido la relación cuantitativa cuando igualó el calor empleado al elevar en un grado la temperatura del agua, con la fuerza estática necesaria para comprimir la misma cantidad de agua a su volumen original.[36] Mayer comenzó midiendo la fuerza por el impulso que ésta podía producir.[37] Todas estas iniciativas casuales resultaron completamente improductivas, y, de este grupo, únicamente Mayer logró trascenderlas. Para conseguirlo, tuvo que recurrir a conceptos pertenecientes a un aspecto muy diferente de la ciencia del siglo XIX, aspecto al que ya me referí como interés por las máquinas y cuya existencia daré ahora por sentada como producto secundario y bien conocido de la Revolución industrial. Al examinar este aspecto de la ciencia, encontraremos la fuente principal de los conceptos —particularmente los del efecto mecánico o trabajo— necesarios para la formulación cuantitativa de la conservación de la energía. Además, hallaremos toda una multitud de experimentos y de concepciones cualitativas tan relacionadas con la conservación de la energía que brindan otra ruta, independiente, hacia ésta.

Permítaseme comenzar con el concepto de trabajo. Su análisis nos dará los antecedentes necesarios y también la oportunidad de subrayar una idea, más usual, acerca de las fuentes de los conceptos cuantitativos que hay detrás de la conservación de la energía. En la

[35] *Physical Forces*, p. 46.

[36] *Zeit. f. Phys.*, 5 (1837): 422-423.

[37] Weyrauch, II. pp. 102-105. Éste es su primer artículo, "Ueber die quantitative und qualitative Bestimmung der Kräfte", enviado a Poggendorl en 1841, pero no publicado hasta después de la muerte de Mayer. Antes de escribir su segundo artículo, el primero para ser publicado, Mayer había aprendido un poco más de física.

mayoría de las historias o prehistorias de la conservación de la energía se supone que el modelo para cuantificar los procesos de conversión fue el teorema dinámico, conocido casi desde el principio del siglo XIX como conservación de la *vis viva*.[38] Este teorema posee un papel destacado en la historia de la dinámica, y resulta ser un caso especial de conservación de la energía. Por eso bien pudo tomarse como modelo. Sin embargo, creo que es errónea la impresión prevaleciente de que tal fue el caso. La conservación de la *vis viva* fue algo importante para que Helmholtz derivara la conservación de la energía, y un caso especial —el de la caída libre— del mismo teorema dinámico fue de gran ayuda para Mayer. Pero estos personajes extrajeron también elementos importantes de otra tradición distinta —la de la ingeniería del agua, el viento y el vapor—, y esa tradición es del todo importante para el trabajo de los otros cinco precursores que lograron una versión cuantitativa de la conservación de la energía.

Hay una razón excelente para que esto haya sido así. La *vis viva* es mv^2, el producto de la masa por el cuadrado de la velocidad. Pero hasta una fecha tardía esa cantidad no aparece en los trabajos de ninguno de los precursores, salvo Carnot, Mayer y Helmholtz. En grupo, los pioneros apenas si se interesaron en la energía del movimiento, y tampoco hicieron mucho por aplicar esta energía como medida cuantitativa básica. Lo que usaron, por lo menos los que tuvieron éxito, fue fs, o sea, el producto de la fuerza por la distancia, cantidad conocida con los diversos nombres de efecto mecánico, energía mecánica y trabajo. Pero esa cantidad no se da como entidad conceptual independiente en la literatura relativa a la dinámica. En realidad no aparece hasta 1820, y eso de manera dispersa, cuando la literatura francesa —y únicamente la francesa— se vio enriquecida súbitamente gracias a una serie de obras teóricas sobre temas como la teoría de las máquinas y de la mecánica industrial. En estos nuevos libros, el trabajo es una entidad conceptual independiente y significativa, y sus investigadores la relacionan explícitamente con la *vis viva*. Pero el concepto no fue inventado para incluirlo en estos libros. Es un préstamo tomado de un siglo de práctica de la ingeniería, en donde se había estado usando tal concepto independientemente tanto de la *vis viva* como de su conservación. Tal fuente en la tradición de la ingeniería es

[38] Sería más exacto decir que la mayoría de las prehistorias de la conservación de la energía son ante todo listas de anticipaciones, y éstas aparecieron principalmente en la literatura antigua sobre la *vis viva*.

todo lo que los precursores de la conservación de la energía necesitaban y lo que utilizó la mayoría de ellos.

Para documentar esta conclusión, es necesario otro escrito, pero permítaseme ilustrar las consideraciones de las cuales proviene. Hasta 1743, la significación dinámica general de la conservación de la *vis viva* debe ser recogida de la forma en que se aplica a dos clases especiales de problemas: el choque elástico y la caída restringida.[39] La fuerza por la distancia no tiene que ver con el primer problema, ya que el choque elástico conserva numéricamente la *vis viva*. En otras aplicaciones, por ejemplo, los péndulos braquistócrono e isócrono, lo que se presenta en el teorema de la conservación es el desplazamiento vertical y no la fuerza por la distancia. Es característico el enunciado de Huyghens de que el centro de gravedad de un sistema de masas no puede ascender más allá de su posición de reposo inicial.[40] Compárese con el famoso enunciado de Daniel Bernoulli, hecho en 1738: la conservación de la *vis viva* es "la igualdad del descenso real con el ascenso potencial".[41]

En los enunciados más generales, iniciados en el *Traité* de D'Alembert, publicado en 1743, se suprime el desplazamiento vertical, lo que concebiblemente podría llamarse concepción embrionaria del trabajo. D'Alembert afirma que las fuerzas que actúan sobre un sistema de cuerpos conexos aumentarán su *vis viva* en la cantidad $\sum m_i u_i^2$, en donde u_i representa las velocidades que las masas m_i adquirirían si se movieran libremente sobre las mismas trayectorias y por la acción de

[39] La primera literatura del siglo XVIII contiene muchos enunciados generales sobre la conservación de la *vis viva* considerada como una fuerza metafísica. Estas formulaciones se analizarán someramente más adelante. Por el momento, obsérvese que ninguna de ellas se adecua para aplicarla a los problemas técnicos de la dinámica, y precisamente de esas formulaciones nos estamos ocupando. Un excelente análisis de las formulaciones, tanto dinámicas como metafísicas, es el incluido en A. E. Haas, *Die Entwicklungsgeschichte des Satzes von der Erhaltung der Kraft* (Viena, 1909), que en términos generales es la prehistoria, más completa y digna de confianza, de la conservación de la energía. Se pueden encontrar otros detalles útiles en Hans Schimank, "Die geschichtliche Entwicklung des Kraftbegriffs bis zum Aufkommen der Energetik", en *Robert Mayer und das Energieprinzip, 1842-1942*, compiladores: H. Schimank y E. Pietsch (Berlín, 1942). Le agradezco al profesor Erwin Hiebert el haberme llamado la atención hacia estas dos obras tan útiles como poco conocidas.

[40] Christian Huyghens, *Horologium oscillatorium* (París, 1673). Usé la edición alemana, *Die Pendeluhr*, compiladores: A. Heckscher y A. V. Oettingen, Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften, núm. 192 (Leipzig, 1913), p. 112.

[41] D. Bernoulli, *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum, commentarii* (Basilea, 1738), p. 12.

las mismas fuerzas.[42] Aquí, como en la versión posterior del teorema general, de Daniel Bernoulli, la fuerza por la distancia entra únicamente en ciertas aplicaciones particulares para permitir el cálculo de las u_i particulares; no tiene ni un nombre ni un significado general; la *vis viva* es el parámetro conceptual.[43] El mismo parámetro domina las mismas formulaciones analíticas. La *Mecánica* de Euler, la *Mécanique analytique* de Lagrange y la *Mécanique céleste* de Laplace hacen destacar exclusivamente las fuerzas centrales derivables de funciones potenciales.[44] En esos trabajos la integral de la fuerza por el elemento de trayectoria diferencial ocurre sólo en la derivación de la ley de conservación. La ley en sí iguala la *vis viva* con una función de las coordenadas de posición.

Hasta 1782, en el *Essai sur les machines en général*, de Lazare Carnot, la fuerza por la distancia no recibe un nombre especial ni una prioridad

[42] J. L. D'Alembert, *Traité de dynamique* (París, 1743). Sólo pude ver la segunda edición (París, 1758), en donde el material pertinente está en las pp. 252-253. El análisis que D'Alembert hace de los cambios introducidos desde la primera edición no es razón para sospechar que él había alterado en este punto la formulación original.

[43] D. Bernoulli, "Remarques sur le principe de la conservation des forces vives pris dans un sense général", *Hist. Acad. de Berlín* (1748), pp. 356-364.

[44] L. Euler, *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*, en *Opera omnia* (Leipzig y Berlín, 1911), ser. 2, 2:74-77. La primera edición se hizo en San Petersburgo, en 1736.

J.-L. Lagrange, *Mécanique analytique* (París, 1788), pp. 206-209. Cito la primera edición porque la segunda, reimpresa en los volúmenes 11 y 12 de las *Oeuvres* de Lagrange (París, 1867-1892), contiene un cambio muy importante. En la primera edición, la conservación de la *vis viva* se formula únicamente con respecto a restricciones independientes del tiempo y a fuerzas centrales u otras que sea posible integrar. Luego toma la forma $\Sigma m_i v_i^2 = 2H + 2\Sigma m_i \pi_i$, en donde H es una constante de integración y las π_i son funciones de las coordenadas de posición. En la segunda edición, París 1811-1815 (*Oeuvres*, 11:306-310), Lagrange repite lo anterior, pero se restringe a una clase particular de cuerpos elásticos para explicar el tratado de ingeniería de Lazare Carnot (nota 45), al cual cita. Para una explicación más completa del problema de ingeniería tratado por Carnot, remite a sus lectores a su propia *Théorie des fonctions analytiques* (París, 1797), pp. 399-410, en donde formula más explícitamente su versión del problema de Carnot. En esa formulación se evidencia el efecto de la tradición ingenieril, pues ahora comienza a aparecer el concepto de trabajo. Lagrange afirma que el incremento de la *vis viva* entre dos estados dinámicos del sistema es $2(P) + 2(Q) + \ldots$, en donde (P) —Lagrange la llama un "aire" —es $\Sigma_i \int P_i dp_i$, y P_i es la fuerza del iésimo cuerpo en dirección de las coordenadas de posición p_i. Desde luego, estos "aires" son justamente el trabajo.

P. S. Laplace, *Traité de mécanique céleste* (París, 1798-1825). Los pasajes pertinentes son más fáciles de encontrar en las *Oeuvres complètes* (París, 1878-1904), 1:57-61. Matemáticamente, este tratamiento de 1798 se asemeja más al de Lagrange de 1797, que a la forma anterior de 1788. Pero, como en las formulaciones preingenieriles, se pasa por alto rápidamente la ley de la conservación que incluye una integral del trabajo, a favor del enunciado más bien restringido que emplea una función del potencial.

conceptual dentro de la teoría dinámica.[45] Esta nueva concepción dinámica del concepto de trabajo tampoco fue realmente desarrollada ni difundída antes de los años 1819-1839, cuando fue expresada cabalmente en los trabajos de Navier, Coriolis, Poncelet y otros.[46] Todos estos trabajos se ocupan del análisis de máquinas en movimiento. En consecuencia, el trabajo —la integral de fuerza con respecto a la distancia— es su parámetro conceptual fundamental. Entre otros resultados, significativos y característicos de esta reformulación, estuvieron la introducción del término "trabajo" y el de unidades para medirlo, la redefinición de *vis viva* como $\frac{1}{2}mv^2$ o $mv^2/2$ para preservar la prioridad conceptual de la medida trabajo, y la formulación explícita de la ley de conservación en función de la igualdad del trabajo realizado y la energía cinética producida.[47] Sólo cuando estuvo así reformu-

[45] L. N. M. Carnot, *Essai sur les machines en général* (Dijon, 1782). Consulté este trabajo en las *Oeuvres mathématiques* de Carnot (Basilea, 1797), pero confío principalmente en la segunda edición ampliada, *Principes fondementaux de l'equilibre et du mouvement* (París, 1803). Carnot introduce varios términos refiriéndose a lo que nosotros llamamos trabajo, el más importante de los cuales es "fuerza viva latente", y también "momento de actividad" (*ibid.*, pp. 38-43). Sobre éstos dice: "Esa clase de cantidad a la que le doy el nombre de *momento de actividad* desempeña un papel muy importante en la teoría de las máquinas en movimiento; pues en general es la cantidad que debe uno economizar, tanto como sea posible, para extraer de un agente dado [es decir, de una fuente de poder] todo el efecto [mecánico] que ésta pueda ejercer" (*ibid.*, p. 257).

[46] Una exploración útil de la historia antigua de este importante movimiento se encuentra en C. L. M. H. Navier, "Détails historiques sur l'emploi du principes des forces vives dans la théorie des machines et sur diverses roues hydrauliques", *Ann. Chim. Phys.*, 9 (1818): 146-159. Sospecho que la edición de Navier, de la *Architecture hydraulique* de B. de F. Belidor (París, 1819) contiene la primera exposición de la nueva física ingenieril, pero todavía no veo este trabajo. Los tratados de autoridad reconocida son: G. Coriolis, *Du calcul de l'effet des machines, ou considérations sur l'emploi des moteurs et sus leur évaluation pour servir d'introduction à l'étude speciale des machines* (París, 1829); C. L. M. H. Navier, *Résumé des leçons données a l'école des ponts et chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines* (París, 1838), vol. 2; y J.-V. Poncelet, *Introduction à la mécanique industrielle,* compilador; Kratz, 3ª ed. (París, 1870). Este trabajo apareció por primera vez en 1829 (parte de él había sido publicado en litografía en 1827); la edición muy ampliada, y que es ahora la versión autorizada, de la cual se hizo la tercera edición, apareció en 1830-1839.

[47] La adopción formal del término *trabajo (travail)* se le acredita a veces a Poncelet (*Introduction*, p. 64), aunque desde antes muchos otros lo habían usado casualmente; Poncelet da también (pp. 74-75) una relación útil de las unidades (*dynamique*, *dyname*, *dynamie*, etc.) empleadas comúnmente para medir esta cantidad. Coriolis (*Du calcul de l'effet des machines*, p. IV) es el primero en insistir en que la *vis viva* sea $\frac{1}{2}mv^2$, de manera que resulte igual numéricamente al trabajo que pueda producir; también emplea muchas veces el término *travail*, que Poncelet le tomó prestado. La reformulación de la ley

lada, la conservación de la *vis viva* constituyó un conveniente modelo conceptual para cuantificar los procesos de conversión, y luego casi ninguno de los pioneros lo usó. En lugar de ello, volvieron a la misma y antigua tradición ingenieril dentro de la cual Lazare Carnot y sus sucesores franceses habían fundado los conceptos necesarios para sus nuevas versiones del teorema de la conservación dinámica.

Sadi Carnot es la única excepción. Sus notas manuscritas van de la afirmación de que el calor es movimiento a la convicción de que es *vis viva* molecular y que, por consiguiente, su incremento debe ser igual al trabajo realizado. Estos pasos implican un predominio inmediato de la relación entre trabajo y *vis viva*. Mayer y Helmholtz podían haber sido también excepciones, pues ambos podían haber aprovechado la reformulación francesa. Pero ninguno de ellos parece haberla conocido. Ambos comenzaron tomando el trabajo —o más bien el producto del peso por la altura— como medida de la "fuerza", y cada uno de ellos llegó por sí mismo a algo muy parecido a la reformulación francesa.[48] Los otros seis pioneros que llegaron o se acercaron a la cuantificación

de la conservación avanza gradualmente a partir de Lazare Carnot, pasando por todos estos trabajos.

[48] Tan pronto como considera un problema cuantitativo en su primer artículo publicado, Mayer dice: "Una causa, por la que se produce la elevación de un peso, es una fuerza; como esta fuerza produce la caída de un cuerpo, la llamaremos fuerza de caída [Fallkraft]" (Weyrauch, I, p. 24). Ésta es la medida ingenieril, no la medida dinámica teórica. Aplicándola al problema de la caída libre, Mayer deriva inmediatamente $\frac{1}{2}mv^2$ (nótese la fracción) como la medida de la energía de movimiento. La propia tosquedad de su inferencia, aunada a su falta de generalidad, indica que desconocía los textos franceses de ingeniería. El único texto francés que menciona en sus escritos (G. Lamé, *Cours de physique de l'école polytechnique*, 2ª ed. [París, 1840] no trata la *vis viva* ni la conservación.

Helmholtz emplea los términos *Arbeitskraft, bewegende Kraft, mechanische Arbeit* y *Arbeit* para su fuerza mensurable fundamental (Helmholtz, *Abhandlungen* I, 12, 17-18). No he podido todavía seguirles las huellas a estos términos en la literatura alemana antigua, relativa a este asunto, pero son obvios los parelelos que guardan con las tradiciones ingenieriles francesa e inglesa. Por otra parte, el traductor de la versión de Clapeyron a la memoria de Sadi Carnot emplea el término *bewegende Kraft* como equivalente del término francés *puissance motrice (Pogg. Ann.*, 59 [1843]: 446), y Helmholtz cita esta traducción (p. 17, n. 1). En esta medida, es explícito el vínculo con la tradición ingenieril.

Helmholtz, sin embargo, no estuvo al tanto de la tradición ingenieril teórica francesa. Como Mayer, infiere el factor de ½ de la definición de energía de movimiento y no sabe si hay algún precedente (p. 18). Lo más significativo es que no logra identificar $\int Pdp$ como trabajo o *Arbeitskraft*, y entonces lo llama la "suma de las tensiones" *(Summe der Spannkräfte)* sobre la dimensión del espacio del movimiento.

de los procesos de conversión quizá no hubieran tenido que usar dicha reformulación. A diferencia de Mayer y Helmholtz, aplicaron directamente el concepto trabajo a un problema en que la *vis viva* es constante de un ciclo a otro, por lo que no ingresa. Joule y Liebig son característicos. Ambos comenzaron comparando el "rendimiento" del motor eléctrico con el de la máquina de vapor. ¿Cuánto peso, se preguntaron, puede elevar cada una de estas máquinas a través de una distancia fijada, con un gasto dado de carbón o zinc? Esta interrogante es fundamental en sus programas de investigación completos, igual que en los programas de Carnot, Séguin, Holtzmann y Hirn. No es, sin embargo, una interrogante extraída de la nueva o de la vieja dinámica.

Pero ninguna de ellas, salvo por su aplicación al caso de la electricidad, es una cuestión novedosa. La evaluación de las máquinas en función del peso que podía elevar cada una de ellas hasta un nivel dado está implícita en las descripciones de las máquinas hechas por Savery en 1702 y explícita en el análisis de las ruedas de agua hecho por Parent en 1704.[49] Con los más diversos nombres, particularmente el de efecto mecánico, el peso por la altura dio una medida básica del rendimiento mecánico en todos los trabajos de ingeniería de Desagulier, Smeaton y Watt.[50] Borda aplicó la misma medida a las máquinas hidráulicas y Coulomb a la fuerza del viento y a la fuerza de los animales.[51] Estos ejemplos, extraídos de todas las épocas del siglo XVIII, pero cuya densidad aumenta hacia finales de éste, podrían

[49] La unidad implícita en el trabajo de Savery es, en realidad, el caballo de potencia, pero éste incluye el peso por la altura. Véase H. W. Dickinson y Rhys Jenkins, *James Watt and the Steam Engine* (Oxford, 1927), pp. 353-354. Antoine Parent, "Sur le plus grande perfection possible des machines", *Hist. Acad. Roy.* (1704), pp. 323-338.

[50] J. T. Desagulier, *A Course of Experimental Phylosophy*, 3ª ed., 2 vols. (Londres, 1763), particularmente 1:132 y 2:412. Esta edición póstuma es prácticamente una reimpresión de la segunda edición (Londres, 1749).

John Smeaton, "An Experimental Inquire concerning the Natural Powers of Water and Wind to Turn Mills, and Other Machines, depending on a Circular Motion", *Phil. Trans.*, 51 (1759): 51. Aquí la medida es el peso por la altura por la unidad de tiempo. Se abandona, sin embargo, la dependencia respecto del tiempo en su "An Experimental Examination of the Quantity and Proportion of Mechanic Power Necessary to be Employed in Giving Different Degrees of Velocity to Heavy Bodies", *Phil. Trans.*, 66 (1776): 458.

Sobre Watt, véase Dickinson y Jenkins, *James Watt*, pp. 353-356.

[51] J. C. Borda, "Mémoires sur les roues hydrauliques", *Men. l'Acad. Roy* (1767), p. 272. Aquí, la medida es el peso por la velocidad vertical. La altura sustituye a la velocidad en C. Coulomb, "Observation théorique et expérimentale sur l'effert des moulins à vent, et sur la figure de leurs ailes", *ibid.*, (1781), p. 68, y "Resultant de

multiplicarse casi indefinidamente. Tales ejemplos, sin embargo, deben preparar el camino para introducir una estadística, poco notada pero virtualmente decisiva. De los nueve precursores que alcanzaron el éxito, parcial o total, en cuantificar los procesos de conversión, todos ellos menos Mayer y Helmholtz tuvieron formación de ingenieros o estaban trabajando directamente con máquinas cuando hicieron sus aportaciones a la conservación de la energía. De los seis que calcularon valores independientes del coeficiente de conversión, todos menos Mayer trabajaban con máquinas, bien directamente, bien por su formación.[52] Para hacer el cálculo, necesitaban el concepto de trabajo, y la fuente de tal concepto consistió principalmente en la tradición ingenieril.[53]

El concepto de trabajo es la contribución decisiva a la determinación de la conservación de la energía, contribución que se debe al interés del siglo XIX por las máquinas. Por eso le he dedicado tanto espacio. Pero el interés por las máquinas contribuyó de muchas otras maneras al surgimiento de la ley de la conservación de la energía, y debemos tratar por lo menos algunas de ellas. Por ejemplo, mucho antes del descubrimiento de los procesos de conversión electroquímicos, los

plusieurs expériences destinée à determiner la quantité d'action que les hommes peuvent fournir par leur travail journalier, suivant les differentes maniéres dont ils emploient leurs forces", *Mem. de l'Inst.*, 2 (1799):381.

[52] Mayer cuenta que le gustaba mucho construir modelos de ruedas de agua, cuando era niño, y que al estudiarlas aprendió la imposibilidad/del movimiento perpetuo (Weyrauch, II, p. 390). A la vez, pudo haber aprendido la medida propia del producto de las máquinas.

[53] El profesor Hiebert se pregunta si el concepto de trabajo mecánico no habrá surgido de la estática elemental y especialmente del enunciado en el que se infiere la estática del principio de las velocidades virtuales. Hace falta investigar más sobre este punto, pero por el momento mi respuesta tendrá que ser vagamente negativa. Los elementos de la estática fueron un renglón importante en los conocimientos de todos los ingenieros del siglo XVIII y, por tanto, el principio de las velocidades virtuales reaparece en ese mismo siglo en los escritos sobre problemas de ingeniería. Es muy posible que los ingenieros no hubiesen podido transformar el concepto de trabajo sin la ayuda del principio de la estática, que ya existía. Pero, como lo indica el análisis anterior, si el concepto de trabajo, perteneciente al siglo XVIII, surgió del principio antiguo de las velocidades virtuales, ello ocurrió cuando tal principio quedó incorporado firmemente a la tradición ingenieril y sólo cuando ésta se volcó hacia la evaluación de fuentes de poder como los animales, las caídas de agua, el viento y el vapor. Por consiguiente, volviendo al vocabulario de la nota 9, sugiero que el principio de las velocidades virtuales pudo haber sido condición previa para el descubrimiento de la conservación de la energía, pero no un desencadenador del proceso. [Esta nota la agregué al manuscrito original a raíz de la discusión que se produjo después de la exposición verbal.]

hombres interesados en las máquinas de vapor y de agua habían visto ocasionalmente en éstas mecanismos para transformar la fuerza latente del combustible o del agua que cae en la fuerza mecánica que eleva pesos. "Estoy persuadido", decía Daniel Bernoulli en 1738, "de que si toda la *vis viva* encerrada en un pie cúbico de carbón pudiera ser extraída y aprovechada para mover una máquina, daría mayor rendimiento que ocho o diez hombres en una jornada de trabajo."[54] Aparentemente, ese comentario, hecho en el punto culminante de la controversia sobre la *vis viva* metafísica, no tuvo influencia posterior. Sin embargo, la misma percepción de las máquinas se repite una y otra vez, más explícitamente en los escritores franceses dedicados a la ingeniería. Lazare Carnot, por ejemplo, dice que "el problema de hacer girar una piedra de molino, sea por la fuerza del agua, del viento o de un animal. . . es el de consumir [la porción] máxima posible del trabajo realizado por esos agentes".[55] Con Coriolis, el agua, el viento, el vapor y los animales son todos ellos, sencillamente, fuentes de trabajo, y las máquinas se convierten en dispositivos para transformar el trabajo en una forma útil y transmitirlo a la carga.[56] Aquí, las solas máquinas llevan a una concepción de los procesos de conversión que se acerca mucho a la resultante de los descubrimientos del siglo XIX. Ese aspecto del problema de las máquinas puede explicar muy bien por qué los ingenieros del vapor —Hirn, Holtzmann, Séguin y Sadi Carnot— fueron conducidos al mismo aspecto de la naturaleza que personajes como Grove y Faraday.

El hecho de que las máquinas pudieran ser vistas como dispositivos de conversión puede explicar también algo más. ¿No es ésta la razón de que los conceptos ingenieriles resultaran tan fáciles de transferir a los problemas más abstractos de la conservación de la energía? El concepto de trabajo es tan sólo el ejemplo más importante de tal transferencia. Joule y Liebig llegaron a la conservación de la energía

[54] *Hydrodynamica*, p. 231.

[55] *De l'équilibre et du mouvement*, p. 258. Nótese también que tan pronto como Lagrange se vuelve hacia el problema de Carnot (nota 44) comienza a hablar de la misma manera. En las *Fonctions analytiques*, dice que las caídas de agua, el carbón, la pólvora, los animales, etc., todos ellos "contienen una cantidad de *vis viva*, que uno puede aprovechar pero no aumentar por ningún medio mecánico. Se puede [por tanto] considerar siempre que una máquina está hecha para que destruya una cantidad dada de *vis viva* [en la carga] consumiendo otra *vis viva* dada [la de la fuente]" (*Oeuvres*, 9:410).

[56] *Du calcul de l'effet des machines*, cap. 1. Para Coriolis, el teorema de la conservación aplicado a una máquina perfecta se convierte en el "Principio de la transmisión del trabajo".

planteando una añeja interrogante de la ingeniería: ¿"Qué es el 'rendimiento' "? Tal pregunta, en relación con los nuevos procesos de conversión en el motor eléctrico impulsado por baterías. Pero esa cuestión —la de cuánto trabajo se produce con una cantidad dada de combustible— implica la noción de un proceso de conversión. Retrospectivamente, suena incluso como la expresión de la necesidad de un coeficiente de conversión. Joule, por lo menos, respondió la pregunta creando uno de tales coeficientes. O considérese la siguiente y más asombrosa transferencia de los conceptos de ingeniería. Aunque sus concepciones fundamentales son incompatibles con la conservación de la energía, la *Réflexion sur la puissance motrice du feu,* de Sadi Carnot, fue citada por Helmholtz y Colding como la aplicación más destacada de la imposibilidad del movimiento perpetuo a un proceso de conversión no mecánico.[57] Helmholtz bien puede haber tomado prestado de la memoria de Carnot el concepto analítico de un proceso cíclico que desempeñó un papel tan importante en su artículo clásico.[58] Holtzmann derivó su valor del coeficiente de conversión mediante una modificación menor de los procedimientos analíticos de Carnot, y éste, en su exposición de la conservación de la energía, emplea repetidamente datos y conceptos de su primera memoria, fundamentalmente incompatible. Estos ejemplos pueden por lo menos sugerir el porqué de la facilidad y la frecuencia con que los conceptos de la ingeniería se aplicaron para inferir la ley de la conservación científica y abstracta.

Mi ejemplo final de la productividad del interés manifestado en el siglo XIX hacia las máquinas está ligado menos directamente a éstas. Subraya, sin embargo, la multiplicidad y la variedad de las relaciones a las que obedece que el factor relativo a la ingeniería haya pesado tanto en esta exposición del descubrimiento simultáneo. Ya demostré en otra parte que muchos de los precursores compartieron un interés

[57] Helmholtz, *Abhandlungen*, 1:17. Colding, "Naturkraefter", *Dansk. Vid. Selsk.*, 2 (1851): 123-124. Carlo Matteucci da un testimonio de especial interés sobre las evidentes similitudes que hay entre la teoría de la conservación de la energía y la incompatible teoría de Carnot sobre la máquina de combustión. Su artículo, "De la relation qui existe entre la quantité de l'action chimique et la quantité de chaleur, d'électricité et de lumière qu'elle produit", *Bibliothèque Universelle de Genève, Supplement,* 4 (1847): 375-380, es un ataque a varios de los primeros expositores de la conservación de la energía. Dice de sus contrarios que son el grupo de físicos que "han tratado de demostrar que el celebrado principio de Carnot sobre la fuerza motriz del calor puede aplicarse a los demás fluidos imponderables".

[58] Helmholtz, *Abhandlungen*, 1:18-19. Da la formulación abstracta inicial del proceso cíclico, hecha por Helmholtz.

importante en el fenómeno conocido como compresión adiabática.[59] Cualitativamente, el fenómeno constituyó una demostración ideal de la conversión del trabajo en calor; cuantitativamente, la compresión adiabática produjo el único medio de calcular un coeficiente de conversión con los datos existentes. Por supuesto, el descubrimiento de la compresión adiabática tiene poco o nada que ver con el interés por las máquinas, pero los experimentos que durante el siglo XIX realizaron con tanta profusión los precursores parecía relacionarse, muchas veces, precisamente con este interés práctico. Dalton, y Clément y Désormes, quienes realizaron uno de los primeros trabajos importantes sobre compresión adiabática, fueron también de los primeros en aportar mediciones fundamentales relativas al vapor, y estas mediciones fueron utilizadas por muchos de los ingenieros.[60] Poisson, quien desarrolló una de las primeras teorías sobre la compresión adiabática, la aplicó, en el mismo artículo, a la máquina de vapor, ejemplo que fue seguido de inmediato por Sadi Carnot, Coriolis, Navier y Poncelet.[61] Séguin, aunque utiliza una diferente clase de datos, parece ser un miembro del mismo grupo. Dulong, a cuya memoria clásica sobre la compresión adiabática se refirieron muchos de los precursores, fue un cercano colaborador de Petit, y durante el periodo de esta colaboración Petit produjo una relación cuantitativa de la máquina de vapor que antecede a la de Carnot por ocho años.[62] Hay incluso un indicio del interés manifestado por el gobierno hacia estos trabajos. El premio ofrecido por el *Institut National*, de Francia, y ganado en 1812 por la

[59] T. S. Kuhn, "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, 49 (1958): 132-140.

[60] John Dalton, "Experimental Essays on the Constitution of Mixed Gases; on the Force of Steam or Vapour from Water and Other liquids in Different Temperatures, Both in a Torricellian Vacuum and in Air; on Evaporation; and on the Expansion of Gases by Heat", *Manch, Mem.* 5(1802): 535-602. El segundo ensayo, si bien nacido de los intereses de Dalton por la meteorología, fue aprovechado de inmediato tanto por ingenieros británicos como por los franceses.

Clément y Désormes, "Mémoires sur la théorie des machines à feu", *Bulletin des Sciences par la Société Philomatique*, 6 (1819): 115-118; y "Tableu relatif à la théorie général de la puissance mécanique de la vapeur", *ibid.*, 13 (1826): 50-53. El segundo artículo aparece completo en Crelle, *Journal für die Baukunst* 6 (1833): 143-164. Sobre las contribuciones de estos científicos al estudio de la compresión adiabática, véase mi artículo citado en la nota 59.

[61] S. D. Poisson, "Sur la chaleur des gaz et des vapeurs", *Ann., Chim. Phys.*, 23 (1823): 337-352. Sobre Navier, Coriolis y Poncelet, quienes tienen, todos y cada uno de ellos, capítulos dedicados a los cálculos de máquinas de vapor, véase nota 46.

[62] A. T. Petit, "Sur l'emploi du principe des forces vives dans le calcul de l'effet des machines", *Ann. Chim. Phys.*, 8 (1818): 287-305.

investigación clásica sobre los gases, realizada por Delaroche y Bérard, bien puede haberse originado en parte en el interés del gobierno hacia las máquinas.[63] El último trabajo de Regnault se originó precisamente de allí. Sus famosas investigaciones sobre las características térmicas del gas y el vapor llevan el impuesto título de "Experimentos emprendidos por orden del Ministerio de Trabajos Públicos y a instancias de la Comisión Central de Máquinas de Vapor, para determinar las leyes principales y los datos numéricos que se emplean en los cálculos de máquinas de vapor".[64] Es de sospecharse que, sin estos vínculos con los problemas reconocidos de la ingeniería del vapor, los datos importantes sobre compresión adiabática no habrían sido tan accesibles a los precursores de la conservación de la enegía. En este caso, el interés por las máquinas puede no haber sido esencial para el trabajo de los precursores, pero ciertamente facilitó sus descubrimientos.

Como el interés por las máquinas y los descubrimientos sobre los procesos de conversión realizados en el siglo XIX abarcan la mayoría de los nuevos conceptos técnicos, y los experimentos comunes a algo más que unos cuantos de los descubrimientos de la conservación de la energía, este estudio del descubrimiento simultáneo bien podría concluir aquí. Pero es suficiente un vistazo a los escritos de los precursores para sentirse poseído de la incómoda sensación de que algo falta todavía, algo que tal vez no sea un elemento sustancial. Esta sensación no existiría si todos los pioneros, como Carnot y Joule, hubieran comenzado con un problema técnico, planteado claramente, y luego procedido por etapas hasta llegar al concepto de la conservación de la energía. Pero en los casos de Colding, Helmholtz, Liebig, Mayer, Mohr y Séguin, la noción de una fuerza metafísica, fundamental e indestructible, parece preceder a todas sus investigaciones y estar casi desvinculada de las mismas. A grandes rasgos, estos pioneros parecen haber tenido una idea capaz de convertirse en la de la conservación de la energía desde tiempo antes de que encontraran pruebas

[63] F. Delaroche y J. Bérard, "Mémoire sur la determination de la chaleur specifique des differents gaz", *Ann. Chim. Phys.*, 85 (1813): 72-110, 113-182. No conozco ningún testimonio directo que relacione el premio ganado por esta memoria con los problemas de la ingeniería del vapor, pero la Academia sí ofreció un premio por el perfeccionamiento de las máquinas de vapor, hacia 1793. Véase H. Guerlac, "Some Aspects of Science during the French Revolution", *The Scientific Monthly*, 80 (1955): 96.

[64] En *Mém. de l'Acad.*, 21 (1847): 1-767.

de su existencia. Los factores ya discutidos en este artículo parecen explicar por qué, al último, fueron capaces de desarrollar la idea y de darle sentido. Pero la discusión no ha explicado todavía en grado suficiente la existencia de tal idea. Entre los doce pioneros, uno o dos casos no presentarían problemas. Las fuentes de la inspiración científica son notoriamente inescrutables. Pero es sorprendente la existencia de grandes lagunas conceptuales en seis de nuestros doce casos. Aunque no puedo resolver por completo el problema que esto plantea, por lo menos debo tocarlo.

Ya hicimos notar algunas de esas lagunas. Mohr saltó imprevistamente de una defensa de la teoría dinámica del calor al enunciado de que hay solamente una fuerza en la naturaleza y que ésta es inalterable en términos cuantitativos.[65] Liebig dio un salto semejante del rendimiento de los motores eléctricos al enunciado de que los equivalentes químicos de los elementos determinan el trabajo aprovechable y resultante de procesos químicos, por medios eléctricos o términos.[66] Colding nos dice que se le ocurrió la idea de la conservación en 1839, cuando era estudiante, pero que abstuvo de anunciarla hasta 1843, cuando ya había reunido testimonios acerca de ella.[67] La biografía de Helmholtz contiene una historia parecida.[68] Séguin empleó, convencido, su concepto de la convertibilidad del calor y el movimiento a cálculos de máquinas de vapor, no obstante que su único intento por confirmar la idea haya sido por completo infructuoso.[69] Repetidas

[65] Véase nota 21 y texto correspondiente.

[66] *Chemische Briefe*, pp. 115-117.

[67] Colding, "History of Conservation", *Phil. Mag.*, 27 (1864): 57-58.

[68] Leo Koenigsberger (*Hermann von Helmholtz*, trad. al inglés F. A. Welby [Oxford, 1906], pp. 25-26, 31-33) dice que las ideas de Helmholtz sobre la conservación ya estaban completas en 1843, y afirma que hacia 1845 el intento de dar una prueba experimental motivó toda la investigación efectuada por dicho personaje. Pero Koenigsberger no da ninguna prueba y tampoco está en lo cierto. En dos artículos sobre el calor fisiológico, escritos de 1845 a 1846 (*Abhandlungen*, 1:8-11; 2:680-725), Helmholtz no se da cuenta de que el calor corporal puede gastarse en trabajo mecánico (compárese con el análisis de Mayer, más adelante). En el segundo de estos artículos da también la consabida explicación, basada en la teoría del calórico, de la compresión adiabática en función del cambio de la capacidad calorífica con la presión. En suma, sus ideas no estuvieron, de ninguna manera, completas hasta 1847 o poco antes. Pero sus escritos de 1845 y 1846 sí demuestran que Helmholtz estaba dedicado a combatir el vitalismo, que según él implicaba la creación de la fuerza partiendo de la nada. Demuestran asimismo que ya conocía los trabajos de Clapeyron y de Holtzmann, de los cuales pensó que venían al caso de su propio trabajo. Sólo en esto podría tener razón Koenigsberger.

[69] *Chemins de fer*, p. 383. Séguin había tratado infructuosamente de medir la diferencia de las cantidades de calor extraídas del quemador y cedidas al condensador de una máquina de vapor.

veces se ha hecho notar el gran salto de Mayer, pero raras veces se ha subrayado su magnitud. De la observación de que la sangre venosa en el trópico es de color claro, hay un pequeño paso a la conclusión de que es necesaria menos oxidación interna cuando el cuerpo cede menos calor al medio.[70] En 1778, y partiendo del mismo indicio, Crawford había llegado a la misma conclusión.[71] Laplace y Lavoisier, en la década de 1780, habían balanceado la misma ecuación que relaciona el oxígeno inspirado con el calor que pierde el cuerpo.[72] Una línea de investigación continua relaciona el trabajo de estos últimos con los estudios bioquímicos de la respiración, hechos por Liebig y Helmholtz a principios de la década de 1840.[73]

Aunque al parecer Mayer no lo sabía, su observación de la sangre venosa fue sencillamente el redescubrimiento del fundamento de una teoría bioquímica, bien conocida y fuente de controversias. Pero esa teoría no fue la única a la que Mayer llegó súbitamente. Por otro lado, insistió en que la oxidación interna debe balancearse con respecto, *tanto* a la pérdida de calor del cuerpo *como* a la actividad física que el cuerpo desempeña. Para esta formulación, no importa mucho el color claro de la sangre venosa observado en el trópico. La extensión que Mayer hace de esta teoría requiere el descubrimiento de que los hombres perezosos, en lugar de los de temperatura elevada, tengan sangre venosa de color claro.

La ocurrencia persistente de saltos mentales como éstos sugiere que muchos de los descubridores de la conservación de las energía estuvieron predispuestos profundamente a ver una sola e indestructible fuerza en la raíz de todos los fenómenos naturales. Ya se hizo notar antes tal predisposición, y varios historiadores han indicado que, por lo menos, es un residuo de una metafísica similar que se origina en la controversia, propia del siglo XVIII, sobre la conservación de la *vis viva*. Leibniz, Jean y Daniel Bernoulli, Hermann y du Châtelet, todos ellos dijeron cosas como : "La *vis* [*viva*] nunca desaparece; cierto es que puede dar la impresión de haberse perdido, pero si uno sabe buscarla, puede descubrirla siempre de nuevo por sus efectos."[74] Hay toda una

[70] Weyrauch, I, pp. 12-14.

[71] E. Farber, "The Color of Venous Blood", *Isis*, 45 (1954): 3-9.

[72] A. Lavoisier y P. S. Laplace, "Mémoire sur la chaleur", *Hist. de l'Acad.* (1780), pp. 355-408.

[73] Helmholtz toca gran parte de esta investigación en su escrito de 1845, "Wärme, physiologisch", para la *Encyclopädische Wörterbuch der medicinischen Wissenschaften (Abhandlungen*, 2:680-725).

[74] Haas, *Erhaltung*, p. 16, n. Citado de *Institutions physiques de Madame la Marquise du Chastellet adresseés á Mr. son Fils* (Amsterdam, 1742).

multitud de enunciados por el estilo, y sus autores tratan, más bien burdamente, de seguirle la pista a la *vis viva* dentro y fuera de los fenómenos no mecánicos. La semejanza entre hombres como Mohr y Colding es muy estrecha. Sin embargo, en el siglo XVIII, los sentimientos metafísicos de esta clase parecen ser una fuente implausible de la predisposición, propia del siglo XIX, que estamos examinando. Aunque el teorema de la conservación *dinámica*, técnica, tiene una historia continua desde principios del siglo XVIII hasta el presente, su correlato metafísico encontró pocos, si no es que ninguno, partidarios después de 1750.[75] Para descubrir el teorema *metafísico*, los precursores de la conservación de la energía tendrían que haberse vuelto a libros de por lo menos un siglo de antigüedad. Ni sus trabajos ni sus biografías sugieren que hayan sido influidos significativamente por esta porción de la historia intelectual antigua.[76]

Afirmaciones como las de los seguidores de Leibniz, en el siglo XVIII y de los precursores de la conservación de la energía en el siglo XIX, sin embargo, pueden encontrarse repetidamente en la literatura de otro movimiento filosófico: la *Naturphilosophie*.[77] Colocando al organismo como la metáfora fundamental de su ciencia universal, los *Naturphilosophen* buscaron constantemente un solo principio que unificase todos los fenómenos naturales. Schelling, por ejemplo, sostuvo "que los fenómenos magnéticos eléctricos, químicos, y hasta los orgánicos, deberían estar entrelazados formando una gran asociación. . . [la cual]

[75] Haas, *Erhaltung*, p. 17.

[76] Ninguno de los precursores menciona en sus escritos originales la literatura del siglo XVIII relativa a la conservación. Colding, sin embargo, dice que le vino la primera idea sobre la conservación mientras leía a D'Alembert en 1839 (*Phil. Mag.*, 27 [1864]:58), y Koenigsberger dice que Helmholtz, hacia 1842, había leído a D'Alembert y Daniel Bernoulli (Helmholtz, p. 26). Con todo, estos dos contraejemplos no modifican realmente mi tesis. D'Alembert omitió toda mención al teorema metafísico de la conservación desde la primera edición de su *Traité*, y en la segunda lo rechazó explícitamente (París, 1758; comienza en el "Avertissement" y sigue en las pp. xvii-xxiv). En realidad, D'Alembert figuró entre los primeros que insistieron en liberar la dinámica de lo que, según se consideraba, eran puras especulaciones metafísicas. Para que Colding hubiese tomado sus ideas de esta fuente, hubiera hecho falta una fuerte predisposición de su parte. La *Hydrodynamica* de Bernoulli es una fuente más adecuada (véase, por ejemplo, el texto que acompaña a la nota 54), pero Koenigsberger hace plausible el punto de que Helmholtz consultó a Bernoulli para desarrollar la idea que ya tenía de la conservación.

[77] Las raíces de la *Naturphilosophie* pueden rastrearse, desde luego, hasta Kant y Wolff, y de aquí a Leibniz; y éste fue el autor del teorema metafísico de la conservación, sobre el cual escribieron Kant y Wolff (Haas, *Erhaltung*, pp. 15-18). Así pues, los dos movimientos no son completamente independientes.

abarca toda la naturaleza".[78] Ya desde antes del descubrimiento de las baterías había insistido en que "no cabe duda de que una sola fuerza, en sus varias formas, está manifiesta en [los fenómenos de] la luz, la electricidad, y así sucesivamente".[79] Estas citas señalan un aspecto del pensamiento de Schelling, documentado cabalmente por Bréhier y últimamente por Stauffer.[80] Como *Naturphilosoph*, Schelling buscó continuamente los procesos de conversión y transformación en la ciencia de su época. A principios de su carrera, le pareció que la química era la ciencia física básica; a partir de 1800, se fue convenciendo de que el galvanismo era "el verdadero fenómeno limítrofe de ambas naturalezas [la orgánica y la inorgánica]".[81] Muchos de los seguidores de Schelling, cuyas enseñanzas dominaron en las universidades alemanas y también en otras vecinas durante el primer tercio del siglo XIX, recalcaron de manera parecida los nuevos fenómenos de conversión. Stauffer ha demostrado que Oersted —*Naturphilosoph* lo mismo que científico— persistió en su larga búsqueda de una relación entre la electricidad y el magnetismo principalmente por su convicción filosófica previa de que debería existir tal relación. Descubierta la interacción, el electromagnetismo desempeñó un papel fundamental en la elaboración que Herbart hizo más tarde de la infraestructura científica de la *Naturphilosophie*.[82] En suma, muchos *Naturphilosophen* extrajeron de sus respectivas filosofías una concepción de los procesos físicos muy semejante a la que Faraday y Grove parecen haber extraído de los descubrimientos del siglo XIX.[83]

[78] Citado por R. C. Stauffer, "Speculation and Experiment in the Background of Oersted'sDiscovery of Electromagnetism", Isis, 48(1957):37, de Schelling, *Einleitung zu seinem Entwurf eines Systems der Naturphilosophie* (1799).

[79] Citado por Haas, *Erhaltung*, p. 45, n. 61, de Schelling, *Erster Entwurf eines Systems der Naturphilosophie* (1799).

[80] Émile Bréhier, *Schelling* (París, 1912). Ésta es la discusión más útil que he encontrado, y desde luego debiera agregarse a la lista de Stauffer, de los auxiliares para estudiar las complejas relaciones entre la ciencia y la *Naturphilosophie* (*Isis*, 48 [1957]: 37, n. 21).

[81] Stauffer, "Speculation and Experiment", p. 36, de Schelling, "Allgemeiner Deduktion des dynamischen Processes oder der Kategorien der Physik" (1800).

[82] Haas, *Erhaltung*, p. 41.

[83] Desde luego, es imposible distinguir claramente entre la influencia de la *Naturphilosophie* y la de los procesos de conversión. Bréhier (*Schelling*, pp. 23-24) y Windelband (*History of Philosophie*, trad. al inglés de J. H. Tufts, 2ª ed. [Nueva York, 1901], pp. 597-598) subrayan que los procesos de conversión fueron en sí una fuente importante de la *Naturphilosophie*, de modo que muchas veces ambos fueron captados juntos. Este hecho debe limitar algunas de las dicotomías establecidas en la primera parte de este

La *Naturphilosophie*, por tanto, pudo haber suministrado un adecuado antecedente filosófico para el descubrimiento de la conservación de la energía. Además, varios de los precursores estuvieron familiarizados por lo menos con sus conceptos básicos. Colding fue un protegido de Oersted.[84] Liebig estudió dos años con Schelling, y aunque después describió estos años como una pérdida de tiempo, nunca abjuró del vitalismo de que entonces se nutrió.[85] Hirn citó tanto a Oken como a Kant.[86] Mayer no estudió *Naturphilosophie*, pero tuvo amigos íntimos, estudiantes como él, que sí lo hicieron.[87] El padre de Helmholtz, íntimo de Fichte más joven que él, y *Naturphilosoph* menor por propia decisión, exhortó constantemente a su hijo para que abandonara el mecanicismo estricto.[88]

Aunque Helmholtz se sintió obligado a extirpar toda discusión filosófica de su memoria clásica, en 1881 fue capaz de reconocer los importantes residuos kantianos que habían escapado a su censura.[89]

Los fragmentos biográficos de esta suerte, desde luego, no prueban deudas intelectuales. Pero sí sirven para justificar fuertes sospechas y

capítulo; pues es difícil de aplicar a cada uno de los precursores la distinción entre las dos fuentes del concepto de la conservación. Ya señalé esta dificultad en el caso de Colding (nota 32). Con Mohr y Liebig, me inclino todavía a darle prioridad psicológica a la *Naturphilosophie*, porque ninguno de ellos había tenido mucho que ver con los nuevos procesos de conversión en sus propias investigaciones y también porque ambos dieron saltos muy grandes. Sus casos contrastan agudamente con los de Grove y Faraday, quienes parecen haber seguido una ruta continuada desde los procesos de conversión a los de conservación. Pero esta continuidad puede ser engañosa. Grove (*Physical Forces*, pp. 25-27) menciona a Coleridge, y éste fue el principal expositor inglés de la *Naturphilosophie*. Como el problema que ponen de manifiesto estos ejemplos me parece real y no resuelto, debo señalar que afecta únicamente a la organización, pero no a la tesis principal de este escrito. Quizá deban considerarse en la misma sección los procesos de conversión y la *Naturphilosophie*. Ambos deben tomarse en cuenta.

[84] Povl Vinding, "Colding, Ludwig August", *Dansk Biografisk Leksikon* (Copenhague, 1933-1944), pp. 377-382. Le agradezco a Roy y a Ann Lawrence el haberme proporcionado un compendio de este útil bosquejo biográfico.

[85] E. von Meyer, *A History of Chemistry*, trad. al inglés de G. McGowan, 3ª ed. (Londres, 1906), p. 274. J. T. Merz, *European Thought in the Nineteenth Century* (Londres, 1923-1950), 1:178-218, particularmente la última página.

[86] G. A. Hirn, "Études sur les lois et sur les principes constituants de l'univers", *Revue d'Alsace*, 1 (1850): 24-41, 127-142, 183-201; *ibid.*, 2 (1851): 24-45. Las referencias a escritos relacionados con la *Naturphilosophie* se presentan bastante a menudo, aunque no son muy favorables. Por otro lado, el propio título de esta obra sugiere la *Naturphilosophie*, y el título se adecua al contenido.

[87] B. Hell, "Robert Mayer", *Kantstudien*, 19 (1914): 222-248.

[88] Koenigsberger, *Helmholtz*, pp. 3-5, 30.

[89] Helmholtz, *Abhandlungen*, 1:68.

también como guías para ampliar la investigación. Por el momento, únicamente insistiré en que esta investigación debe hacerse y que hay excelentes razones para suponer que será fructífera. La mayoría de estas razones ya las expuse antes, pero he pasado por alto la más poderosa. Aunque en 1840 Alemania no había alcanzado la relevancia científica de Inglaterra ni de Francia, cinco de nuestros doce precursores fueron alemanes; el sexto, Colding, danés, fue discípulo de Oersted; y el séptimo, Hirn, alsaciano, fue un autodidacto que leyó a los *Naturphilosophen*.[90] A menos que la *Naturphilosophie* nativa del medio educativo de estos siete hombres haya desempeñado un papel productivo en las investigaciones de algunos, es difícil ver por qué más de la mitad de los precursores tuvo que haber procedido de un campo que, durante su primera generación, apenas si tuvo alguna productividad científica importante. Pero esto no es todo. De ser probada, la influencia de la *Naturphilosophie* puede ayudar a explicar también por qué este grupo de cinco alemanes, un danés y un alsaciano tiene a cinco de los seis precursores en cuyos enfoques de la conservación de la energía ya encontramos tan marcadas lagunas conceptuales.[91]

[90] Se encuentra mucho material biográfico y bibliográfico para el estudio de la vida y obra de Hirn en el *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Colmar*, 1 (1899): 183-335.

[91] Séguin es el sexto, y la fuente de su idea queda completamente en el misterio. Él la atribuye (*Chemins de fer*, p. XVI) a su tío Montgolfier, acerca del cual no pude obtener información pertinente.

Con las estadísticas citadas, no se trata de dar a entender, de ningún modo, que todos los que conocieron la *Naturphilosophie* forzosamente hayan resultado afectados por ella: tampoco quiero argumentar que todos aquellos en cuyos trabajos no hay lagunas conceptuales *ipso facto* no fueron influidos por la *Naturphilosophie* (véanse comentarios sobre Grove en la nota 83). Lo que sigue siendo un misterio es el *predominio* antes que la presencia de los precursores provenientes del área dominada por las tradiciones intelectuales alemanas.

[Se agregó el siguiente párrafo al original, en vista de los puntos surgidos durante la discusión.]

El profesor Gillispie, en su artículo, llama la atención hacia un movimiento poco conocido, que se dio en Francia en el siglo XVIII, y que muestra un paralelismo notable con la *Naturphilosophie*. De haber estado vivo todavía este movimiento en Francia en el siglo XIX, entonces sería cuestionable mi contraste entre la tradición científica alemana y la prevaleciente en el resto de Europa. Pero en todas las fuentes francesas del siglo XIX que examiné no encontré nada parecido a la *Naturphilosophie*, y el profesor Gillispie me asegura que, hasta donde él sabe, el movimiento al que se refiere en su escrito había desaparecido a la vuelta del siglo (salvo, quizá, en algunas partes de la biología). Nótese, además, que este movimiento del sigo XVIII, que predominó especialmente entre artesanos e inventores, puede darnos un indicio sobre el enigma de Montgolfier (véase párrafo anterior).

Esta exploración del descubrimiento simultáneo debe terminar aquí. Comparándola con las fuentes, primarias y secundarias, de las cuales deriva, es evidente que no está completa. No se ha dicho casi nada, por ejemplo, ni de la teoría dinámica del calor ni de la concepción de la imposibilidad del movimiento perpetuo. Ambas ocupan grandes porciones de las historias comunes y corrientes, y ambas requerirían un análisis a fondo. Pero, si estoy en lo cierto, estos factores omitidos, así como otros parecidos, no entran en un análisis más amplio del descubrimiento simultáneo con la misma urgencia que los tres que aquí se han expuesto. La imposibilidad del movimiento perpetuo, por ejemplo, fue un instrumento intelectual indispensable para la mayoría de los pioneros. Las formas en que muchos de ellos llegaron a la conservación de la energía no pueden entenderse sin ella. Sin embargo, reconocer el instrumento intelectual apenas si contribuye a entender el descubrimiento simultáneo, pues la imposibilidad del movimiento perpetuo ha sido endémica en el pensamiento científico de la antigüedad.[92] Sabiendo que el instrumento estuvo allí, nuestra pregunta es: ¿por qué adquirió súbitamente nueva significación y nuevo campo de aplicación? Para nosotros, ésta es la pregunta más significativa.

El mismo argumento se aplica en parte a mi segundo ejemplo de los factores omitidos. A pesar de la merecida fama de Rumford, la teoría dinámica del calor ha estado muy próxima a la superficie de la conciencia científica casi desde los días de Francis Bacon.[93] Aun a fines

[92] E. Mach, *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*, trad. al inglés de Philip E. B. Jourdain (Chicago, 1911), pp. 19-41; y Haas, *Erhaltung*, cap. 4. Recuérdese también que en 1775 la Academia francesa tomó la resolución formal de ya no tomar en cuenta los diseños de máquinas de movimiento perpetuo. Casi todos nuestros precursores se refirieron a la imposibilidad del movimiento perpetuo, y ninguno de ellos da muestras de sentir la necesidad de discutir su validez. En contraste con ello, sí encuentran necesario argumentar extensamente sobre la validez del concepto de conversiones universales. Grove, por ejemplo, inicia sus *Physical Forces* (pp. 1-3) con una petición de imparcialidad para exponer una idea radical. Tal idea es el concepto de conversiones universales, el cual desarrolla ampliamente en el texto (pp. 4-44). Casualmente, aplica la imposibilidad del movimiento perpetuo a esta idea, sin argumento, en las últimas siete páginas (pp. 45-52). Por hechos como éstos es que me he atrevido a calificar de "bastante obvios" a los pasos que van de las conversiones universales a la versión no cuantificada de la conservación.

[93] Sobre las teorías del calor en el siglo XVII, véase M. Boas, "The Establishment of the Mechanical Philosophy", *Osiris*, 10 (1952): 412-541. Sobre las teorías del siglo XVIII hay mucha información dispersa en: D. McKie y N. H. de V. Heathcote, *The Discovery of Specific and Latent Heat* (Londres, 1935) y H. Metzger, *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine*

del siglo XVIII, época en que eclipsó temporalmente el trabajo de Black y Lavoisier, muchas veces se describió la teoría dinámica en discusiones científicas sobre el calor, aunque sólo fuera por el gusto de refutarla.[94] En la medida en que la concepción del calor como movimiento figuró en el trabajo de los precursores, debemos entender por qué tal concepción cobró después de 1830 una importancia que raras veces tuvo antes.[95]

Además, la teoría dinámica no figuró por mucho tiempo. Sólo Carnot la empleó como escalón esencial. Mohr saltó de la teoría dinámica a la conservación, pero su trabajo indica que le habían servido del mismo modo otros estímulos. Grove y Joule se adhirieron a

chimique (París, 1930). Más información útil se encuentra en G. Berthold, *Rumford und die Mechanische Wärmetheorie* (Heidelberg, 1875), no obstante que Berthold pasa rápidamente del siglo XVII al XIX.

[94] Como sería difícil decir que la teoría del calórico se hubiese expuesto en forma desarrollada antes de la publicación, en 1789, del *Traité élémentaire de chimie*, de Lavoisier, más difícil sería afirmar que aquélla hubiese erradicado a la teoría dinámica en la década transcurrida hasta la publicación del trabajo de Rumford. Sobre testimonios de que incluso los más fervientes partidarios de la teoría del calórico siguieron discutiéndola, véase Armand Séguin, "Observations générales sur le calorique. . . reflexions sur la théorie de MM. Black, Crawford, Lavoisier, et Laplace", *Ann. de Chim.*, 3 (1789): 148-242, y 5 (1790): 191-271, particularmente 3:182-190. La teoría material del calor tuvo, desde luego, raíces mucho más profundas que la obra de Lavoisier, pero Rumford, Davy *et al.* se opusieron realmente a la teoría nueva, no a la antigua. Sus trabajos, particularmente el de Rumford, pudieron haber mantenido viva la teoría dinámica después de 1800, pero Rumford no creó la teoría, pues ésta no había muerto.

[95] Rara vez se reconoce que casi hasta mediados del siglo XIX hubo científicos brillantes que aplicaron la conservación de la *vis viva* a la teoría de que el calor es movimiento, pero sin reconocer del todo que el calor y el trabajo pueden convertirse uno en otro. Considérense los siguientes tres ejemplos. Daniel Bernoulli, en los párrafos citados frecuentemente de la sección X de su *Hydrodynamica* equipara al calor con partículas de *vis viva* e infiere las leyes de los gases. Luego, en el párrafo 40, aplica esta teoría al cálculo de la altura desde la cual debe caer un peso dado para comprimir un gas hasta una fracción dada de su volumen original. Su solución da la energía del movimiento extraída del peso que cae para comprimir el gas, pero en ningún momento se da cuenta de que esta energía tiene que ser transferida a las partículas del gas y, por consiguiente, debe elevar la temperatura de dicho gas. Lavoisier y Laplace, en las pp. 357-359 de su clásica memoria (nota 72), aplican la conservación de la energía a la teoría dinámica para demostrar que, para todos los propósitos experimentales, las teorías dinámica y del calórico son precisamente equivalentes. J. B. Biot repite el mismo argumento en su *Traité de physique expérimentale et mathématique* (París, 1816), 1:66-67, y en otras partes del mismo capítulo. El error de Grove acerca del calor (nota 34) indica que aun la concepción de los procesos de conversión fue insuficiente a veces para apartar a los científicos de este error virtualmente universal.

la teoría, pero, en lo sustancial, muestran no depender de ella.[96] Holtzmann, Mayer y Séguin se opusieron a ella —Mayer vehementemente y hacia el final de su vida—.[97] Las conexiones, aparentemente íntimas, entre la conservación de la energía y la teoría dinámica son más que nada retrospectivas.[98]

Compárense estos dos factores omitidos con los tres que ya se expusieron. La racha de descubrimientos de la conversión se inicia en 1800. Las discusiones técnicas acerca de las máquinas dinámicas apenas fueron ingrediente repetitivo de la literatura científica antes de 1760 y su densidad aumenta a velocidad constante desde esa fecha.[99]

La *Naturphilosophie* llegó a su auge en las primeras dos décadas del siglo XIX.[100] Además, estos tres ingredientes, salvo quizá el último, desempeñaron papeles importantes en la investigación de por lo menos la mitad de los precursores. Eso no significa que estos factores expliquen, o los descubrimientos intelectuales, o los descubrimientos colectivos de la conservación de la energía. Muchos descubrimientos y conceptos antiguos fueron esenciales para el trabajo de todos los precursores; muchos nuevos desempeñaron papeles significativos en el trabajo de los individuos. No hemos reconstruido ni reconstruiremos las causas de todo lo que ocurrió. Pero los tres factores analizados aquí

[96] Grove, *Physical Forces*, pp. 7-8. Joule, *Papers*, pp. 121-123. Quizá éstos no hubieran desarrollado sus teorías si no hubiesen tendido a considerar que el calor es movimiento, pero en sus obras no se ven esas conexiones decisivas.

[97] La memoria de Holtzmann se basa en la teoría del calórico. Sobre Mayer, véase Weyrauch, I, pp. 265-272, y II, p. 320, n. 2. Sobre Séguin, véase *Chemins de Fer*, p. XVI.

[98] La facilidad e inmediatez con que la teoría dinámica se identificó con la conservación de la energía las indican los malentendidos contemporáneos de Mayer, citados en Weyrauch II, pp. 320 y 428. El caso clásico, sin embargo, es el de lord Kelvin. Habiendo empleado la teoría del calórico en sus investigaciones y en sus escritos hasta 1850, inicia su famoso artículo "On the Dynamical Theory of Heat" (*Mathematical and Physical Papers* [Cambridge, 1882], 1:174-175) con una serie de comentarios en donde afirma que Davy había establecido la teoría dinámica 53 años antes. Luego dice que "Los recientes descubrimientos hechos por Mayer y Joule. . . pueden servir, *si así se quiere*, de confirmación perfecta a las ideas de sir Humphry Davy" (las cursivas son mías). Pero si Davy estableció la teoría dinámica en 1799, y si la parte restante de la conservación se desprende de aquélla, como da a entender Kelvin, ¿qué fue lo que éste estuvo haciendo antes de 1852?

[99] Las teorías abstractas de las máquinas dinámicas no empiezan en un momento determinado. Escogí 1760 por su relación con las obras de Smeaton y Borda, muy importantes y muy citadas (notas 50 y 51).

[100] Merz, *European Thought*, 1:178, n. 1.

bien pueden constituir la constelación fundamental, dada la pregunta de la cual partimos: ¿por qué, entre 1830 y 1850, se requirieron tantos experimentos y conceptos para un enunciado cabal de la conservación de la energía, que tan próxima se hallaba a la superficie de la conciencia científica?

V. LA HISTORIA DE LA CIENCIA*

COMO disciplina profesional independiente, la historia de la ciencia es un campo nuevo, en pleno surgimiento de una larga y varia prehistoria. Apenas en 1950, y al principio sólo en los Estados Unidos, la mayoría de sus profesionales han sido formados en escuelas donde tal especialidad es una carrera de tiempo completo. De sus antecesores, la mayoría de los cuales fue de historiadores sólo por vocación y que establecieron sus objetivos y valores extrayéndolos de otros campos, esta joven generación hereda una constelación de objetivos a veces irreconciliables. Las tensiones resultantes, si bien atenuadas por la creciente maduración de la profesión, son perceptibles todavía, particularmente en cuanto a los públicos, variados y primarios, a los cuales se continúa dirigiendo la literatura de la historia de la ciencia. En tales circunstancias, cualquier breve informe sobre su desarrollo y estado actual será inevitablemente personal y tendrá el carácter de un pronóstico; no puede ser el que requeriría una profesión con cierta antigüedad.

DESARROLLO DEL CAMPO

Hasta hace poco, la mayoría de quienes escribían la historia de la ciencia eran científicos profesionales, a veces eminentes. Por lo común la historia era para ellos un producto derivado de la pedagogía. Veían en aquélla, además de su atractivo intrínseco, un medio de aclarar los conceptos de su especialidad, de establecer su tradición y de ganar estudiantes. La acepción de historia con la que se inician tantos tratados y monografías técnicos es una ilustración contemporánea de lo que, durante muchos siglos, fue la forma primaria y la fuente exclusiva para el historiador de la ciencia. Este género tradicional apareció en la antigüedad clásica tanto en las secciones históricas de los tratados técnicos como en unas cuantas historias independientes

* Reimpreso con autorización de *International Encyclopedia of the Social Sciences*, vol. 14 (Nueva York: Crowell Collier y Macmillan, 1968), pp. 74-83 *Copyright* 1968, de Crowell Collier y Macmillan.

de la mayoría de las ciencias antiguas y bien desarrolladas: la astronomía y las matemáticas. Obras semejantes —junto con un cuerpo creciente de biografías— tienen una historia continua desde el Renacimiento hasta el siglo XVIII, en que la producción de ellas fue estimulada por la visión que, durante la Ilustración, se tuvo de la ciencia en tanto que fuente y ejemplo del progreso. De los últimos cincuenta años de ese periodo provienen los primeros estudios históricos que a veces se emplean todavía como tales, entre ellos las narraciones históricas contenidas en los trabajos técnicos de Lagrange (matemáticas), así como los grandiosos tratados de Montucla (matemáticas y física), Priestley (electricidad y óptica) y Delambre (astronomía). En el siglo XIX y a principios del XX, no obstante que comenzaban a desarrollarse otros enfoques, los científicos continuaron produciendo ocasionalmente biografías e historias maestras de sus propias especialidades, por ejemplo, Kopp (química), Poggendorff (física), Sachs (botánica), Zittel y Geikie (geología), y Klein (matemáticas).

Otra tradición historiográfica, a veces imposible de distinguir de la primera, fue de objetivos más explícitamente filosóficos. A principios del siglo XVII, Francis Bacon proclamó la utilidad de las historias del aprendizaje para quienes pretendían descubrir la naturaleza y el uso propio de la razón. Condorcet y Comte son tan sólo los más famosos de los escritores de inclinación filosófica quienes, bajo la égida de Bacon, trataron de basar las descripciones normativas de la racionalidad verdadera en las investigaciones históricas del pensamiento científico occidental. Antes del siglo XIX, esta tradición fue predominantemente programática, y produjo pocas investigaciones históricas de importancia. Pero luego, particularmente en los escritos de Whewell, Mach y Duhem, los intereses filosóficos se convirtieron en el motivo primordial de actividad creativa en la historia de la ciencia, y desde entonces han conservado su importancia.

Estas dos tradiciones historiográficas, en especial cuando fueron controladas por las técnicas de crítica de textos, prevalecientes en la historia política alemana del siglo XIX, produjeron ocasionalmente monumentos de erudición, que el historiador contemporáneo ignora bajo su propio riesgo. Pero al mismo tiempo apoyaron un concepto del campo que en la actualidad ha sido rechazado por la naciente profesión. El objetivo de estas antiguas historias de la ciencia es el de esclarecer y profundizar el conocimiento de los métodos científicos *contemporáneos*, mostrando su evolución. Comprometido con tales metas, el historiador elige por lo regular una ciencia o rama de la ciencia

bien establecidas —una cuya calidad de conocimiento sólido apenas pueda ponerse en duda—, para luego describir cuándo, dónde y cómo fueron establecidos los elementos que en su época constituyeron la materia de estudio, así como su supuesto método. Las observaciones, las leyes o las teorías que la ciencia contemporánea había hecho a un lado como errores o improcedencias raras veces fueron consideradas, a menos que contuvieran una enseñanza metodológica o explicaran un prolongado periodo de aparente esterilidad. Principios selectivos muy semejantes gobernaron la discusión de los factores externos a la ciencia. La religión, vista como un obstáculo, y la tecnología, reputada como requisito ocasional para la mejora de los instrumentos, fueron casi siempre los únicos factores que merecieron atención. El resultado de este enfoque ha sido parodiado recientemente, de manera muy brillante por cierto, por el filósofo Joseph Agassi.

Hasta principios del siglo XIX, desde luego, características muy semejantes a las descritas tipificaron a la mayoría de los escritos históricos. La pasión de los romanos por las épocas y los lugares distantes vino a combinarse con las normas eruditas de las críticas bíblicas, aun antes de que los historiadores pudieran darse cuenta del interés y la integridad de los sistemas de valores ajenos al propio. (El siglo XIX es, por ejemplo, el periodo en que por primera vez se admite que la Edad Media tiene una historia.) Esta transformación de la sensibilidad que la mayoría de los historiadores contemporáneos supondrían esencial para su campo no fue, sin embargo, reflejada de inmediato en la historia de la ciencia. Aunque no concordaban en ninguna otra cosa, tanto el historiador romántico como el historiador científico continuaron viendo el desarrollo de la ciencia como una marcha cuasimecánica del intelecto, la rendición sucesiva de los secretos de la naturaleza ante métodos eficaces diestramente aplicados. Apenas en este siglo los historiadores de la ciencia han ido aprendiendo poco a poco a ver su materia de estudio como algo diferente de una mera cronología de logros positivos y acumulados, dentro de una especialidad técnica definida retrospectivamente. Son varios los factores que han contribuido a este cambio.

Probablemente el más importante consista en la influencia, que comienza a fines del siglo XIX, de la historia de la filosofía. En ese campo, únicamente los más ortodoxos podían sentirse confiados de su habilidad para distinguir el conocimiento positivo del error y la superstición. Al tratar ideas que habían perdido su atractivo, el historiador difícilmente podía escapar a la fuerza de un precepto que Bertrand

Russell esbozó así posteriormente: "Al estudiar a un filósofo, la actitud correcta no es de reverencia ni de desprecio, sino ante todo una especie de simpatía hipotética, hasta que es posible saber lo que siente y de la misma manera creer en sus teorías." Esa actitud hacia pensadores pretéritos pasó de la filosofía a la historia de la ciencia. En parte, fue aprendida de hombres como Lange y Cassirer quienes, en el terreno de la historia, trataron con personajes o ideas que fueron importantes también para el desarrollo científico. (Las *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, de Burtt, y la *Great Chain of Being*, de Lovejoy, ejercieron, en este sentido, especial influencia.) Y, por otra parte, tal actitud fue aprendida también de un pequeño grupo de epistemólogos neokantianos, particularmente Brunschvigg y Meyerson, cuya búsqueda de categorías del pensamiento casi absolutas en las ideas antiguas produjo brillantes análisis genéticos de conceptos que la tradición principal en la historia de la ciencia ha pasado por alto o bien menospreciado.

Estas lecciones fueron reforzadas por otro acontecimiento decisivo en el surgimiento de la profesión contemporánea. A casi un siglo de que la Edad Media ha cobrado importancia para el historiador, la búsqueda de Pierre Duhem, de las fuentes de la ciencia moderna, reveló una tradición del pensamiento físico medieval al cual, en contraste con la física de Aristóteles, no podría negársele un papel esencial en la transformación de la teoría física y el método de Galileo que pueden encontrarse allí. Pero no fue posible ni asimilarla enteramente a la física de Galileo ni a la de Newton, dejando sin cambios la estructura de la llamada Revolución científica, pero extendiéndola grandemente en el tiempo. Las novedades esenciales de la ciencia del siglo XVII se entenderían únicamente si la ciencia medieval fuera explorada primero en sus propios términos y luego como la base de la cual surgió la "nueva ciencia". Mucho más que cualquier otra, es esta empresa la que ha conformado la moderna historiografía de la ciencia. Los escritos a los que ha dado lugar desde 1920, en particular los de E. J. Dijksterhuis, Anneliese Maier y especialmente los de Alexandre Koyré, son los modelos que muchos contemporáneos tienden a emular. Además, el descubrimiento de la ciencia medieval y su influencia en el Renacimiento han revelado un área en que la historia de la ciencia puede y debe integrarse con los tipos de historia más tradicionales. Esa tarea acaba de empezar, pero la síntesis precursora realizada por Butterfield y los estudios especiales de Panofsky y Frances Yates señalan un rumbo que seguramente será seguido y ampliado.

Tercer factor en la formación de la moderna historiografía de la ciencia ha sido la repetida insistencia en que el estudio del desarrollo científico se ocupa del conocimiento positivo en conjunto, y que las historias generales de la ciencia deben remplazar a las historias de las ciencias particulares. Como programa que se puede seguir hasta Bacon, y más particularmente hasta Comte, esa demanda apenas ha influido en los trabajos realizados hasta los principios de este siglo, cuando fue reiterada vigorosamente por el venerado universalmente Paul Tannery, y luego llevada a la práctica en las monumentales investigaciones de George Sarton. La experiencia posterior sugiere que las ciencias no son, en realidad, de una sola pieza y que aun la sobrehumana erudición requerida para una historia general de la ciencia apenas podría adaptarse, en cuanto a su evolución conjunta, a una narración coherente. Pero el intento ha sido decisivo, pues ha esclarecido la imposibilidad de atribuirle al pasado las divisiones del conocimiento que se observan en los programas de la ciencia contemporánea. Hoy en día, a medida que los historiadores se vuelven hacia la investigación detallada de las particulares ramas de la ciencia, estudian campos que realmente existieron en los periodos de los que se ocupan, y lo hacen así conscientes del estado de otras ciencias de la época correspondiente.

Más recientemente todavía, otro conjunto de influencias ha empezado a modelar el trabajo contemporáneo en materia de historia de la ciencia. Su resultado es un creciente interés, proveniente en parte de la historia general y en parte de la sociología alemana y la historiografía marxista, por el papel de los factores no intelectuales, particularmente los institucionales y los socioeconómicos, en el desarrollo de la ciencia. Pero, a diferencia de los ya discutidos, estas influencias y los trabajos que a ellas responden no han sido eliminados todavía completamente por la naciente profesión. Por todas sus novedades, la nueva historiografía está dirigida todavía predominantemente a la evolución de las ideas científicas y a los instrumentos (matemáticos, de observación y experimentales) a través de los cuales éstas se influyen recíprocamente e interactúan con la naturaleza. Sus mejores practicantes, como Koyré, por lo regular han minimizado la importancia de los aspectos no intelectuales de la cultura con respecto a los acontecimientos históricos que estudian. Unos cuantos han actuado como si la intrusión de consideraciones económicas o institucionales en la historia de la ciencia negara la integridad de la propia ciencia. A resultas de ello, a veces parece haber dos clases distintas de historia de la ciencia,

que ocasionalmente aparecen bajo la misma envoltura, pero que en rara ocasión se relacionan entre sí firme o fructíferamente. La forma predominante, llamada a menudo "enfoque interno", se ocupa de la sustancia de la ciencia como conocimiento. Su rival más nuevo, a menudo llamado el "enfoque externo", trata de las actividades de los científicos como grupo social dentro de una cultura determinada. Unificar ambos enfoques es la gran tarea a la que ahora se enfrenta la profesión, y hay signos de una buena respuesta. Sin embargo, toda exploración del estado presente de este campo debe seguir considerando ambos enfoques como empresas de hecho distintas.

LA HISTORIA INTERNA

¿Cuáles son las máximas de la nueva historiografía interna? Hasta donde es posible —nunca es así por completo, ni podría escribirse la historia si lo fuera—, el historiador debe deshacerse de la ciencia que sabe. Su ciencia debe aprenderla de los textos y demás publicaciones del periodo que estudia, y debe dominar éstos, así como las tradiciones intrínsecas que contienen, antes de abordar a los innovadores cuyos descubrimientos o invenciones cambiaron la dirección del progreso científico. Al tratar a los innovadores, el historiador debe esforzarse por pensar como ellos lo hicieron. Al reconocer que los científicos son famosos a veces por resultados que no pretendieron obtener, debe preguntarse por los problemas en los que trabaja su sujeto y de qué manera aquéllos se volvieron problemas para él. Reconociendo que un descubrimiento histórico rara vez es atribuido a su autor en los textos posteriores —los objetivos pedagógicos transforman inevitablemente una narración—, el historiador debe preguntarse qué es lo que su sujeto pensaba haber descubierto y en qué se basó para hacer el descubrimiento. Y en este proceso de reconstrucción el historiador debe poner especial atención a los aparentes errores de su sujeto, no por el gusto de encontrarlos, sino porque ellos revelarán mucho más de la mentalidad activa de su personaje, que los pasajes en los cuales un científico parece registrar un resultado o un argumento que la ciencia moderna retiene todavía.

Por lo menos durante los últimos treinta años, las actitudes resultantes de estas máximas han ido guiando cada vez más el mejor saber interpretativo en la historia de la ciencia, y es del saber de esta naturaleza del que se ocupa predominantemente este artículo. (Hay otros tipos, desde luego, aunque la distinción no es clara, y gran parte

de los esfuerzos más valiosos de los historiadores de la ciencia están dedicados a ellos. Pero no es éste el lugar para considerar trabajos como los de, digamos, Needham, Neugebauer y Thorndike, cuya contribución indispensable ha sido la de establecer y hacer accesibles textos y tradiciones que anteriormente se conocían sólo a través del mito.) Sin embargo, la materia de estudio es inmensa; ha habido pocos historiadores profesionales de la ciencia (en 1950, apenas una media docena en los Estados Unidos); y la forma en que han elegido sus asuntos ha sido prácticamente al azar. Hay todavía vastas áreas para las cuales no están claras ni siquiera las líneas de desarrollo básicas.

Probablemente por el prestigio de que disfrutan, la física, la química y la astronomía predominan en la literatura histórica de la ciencia. Pero aun en estos campos los esfuerzos se han distribuido desigualmente, en especial durante este siglo. Como buscaban conocimientos contemporáneos en el pasado, los historiadores científicos del siglo XIX compilaron investigaciones que a veces iban desde la antigüedad hasta su propia época o casi. En el siglo XX, unos cuantos científicos, como Dugas, Jammer, Partington, Truesdell y Whittaker, han escrito desde una perspectiva semejante, y algunas de sus investigaciones contienen la historia de campos especiales casi hasta el presente. Pero son pocos los profesionales de la mayoría de las ciencias desarrolladas que siguen escribiendo historias, y los miembros de la naciente profesión han sido hasta la fecha más sistemáticos y selectivos, lo que ha traído consigo varias consecuencias desafortunadas. La inmersión, profunda y simpática, en las fuentes que sus trabajos exigen prohíbe, virtualmente, las investigaciones amplias, al menos hasta que se haya examinado en profundidad una gran extensión del campo. Comenzando desde cero, o por lo menos creyéndolo así, este grupo trata naturalmente de establecer primero las fases tempranas del desarrollo de una ciencia, y son muy pocos los que rebasan ese punto. Además, hasta hace algunos años casi ninguno de los miembros de los grupos nuevos ha tenido suficiente dominio de la ciencia —en especial, de matemáticas, por lo común el obstáculo decisivo—, como para convertirse en un observador participante en las investigaciones más recientes de las disciplinas más desarrolladas desde el punto de vista técnico.

A consecuencia de ello, aunque la situación está cambiando ahora rápidamente con el ingreso de más y mejor preparados profesionales dentro de este campo, la literatura reciente de la historia de la ciencia tiende a terminar en el punto en que los materiales de fuentes técnicas

dejan de ser accesibles a un hombre con formación científica básica. Hay buenos estudios de matemáticas hasta Leibniz (Boyer, Michel); de astronomía y mecánica hasta Newton (Clagett, Costabel, Dijksterhuis, Koyré y Maier); de electricidad hasta Coulomb (Cohen); y de química hasta Dalton (Boas, Crosland, Daumas, Guerlac, Metzger). Pero, dentro de la nueva tradición, casi no se han publicado trabajos sobre la física matemática del siglo XVIII o sobre la física del siglo XIX.

En cuanto a las ciencias biológicas y de la tierra, la literatura está todavía menos desarrollada, en parte porque únicamente las especialidades que, como la fisiología, se relacionan estrechamente con la medicina alcanzaron su calidad de profesiones reconocidas antes de fines del siglo XIX. Hay unas cuantas investigaciones del tipo antiguo hechas por científicos, y los miembros de la nueva profesión apenas ahora empiezan a explorar estos campos. En biología, por lo menos hay perspectivas de cambio rápido, pero hasta la fecha las únicas áreas estudiadas intensamente son el darwinismo del siglo XIX y la anatomía y la fisiología de los siglos XVI y XVII. Sobre el segundo de estos asuntos, sin embargo, el mejor de los libros publicados (por ejemplo, O'Malley y Singer) tratan de problemas especiales y de personas, con lo que es difícil que muestren una tradición científica en evolución. La literatura sobre la evolución, a falta de historias adecuadas de las especialidades técnicas de las que extrajo Darwin tanto sus datos como sus problemas, está escrita a un nivel de generalidad filosófica que impide ver cómo es que el *Origen de las especies* pudo haber sido un gran avance, y mucho menos un avance científico. El estudio modelo de Dupree, referente al botánico Asa Gray, figura entre las pocas excepciones notables.

Hasta la fecha, la nueva historiografía no ha tocado las ciencias sociales. En estos campos, la literatura histórica, cuando existe, la han producido los profesionales de la ciencia de que se trate, y quizá *History of Experimental Psychology*, de Boring, sea el mejor ejemplo. Como las antiguas historias de las ciencias físicas, esta literatura a menudo es indispensable, pero como historia comparte las limitaciones de aquéllas. (La situación es típica para las ciencias relativamente nuevas: se espera que los profesionales de estos campos conozcan el desarrollo de sus especialidades, que adquieren entonces una historia cuasioficial; de ahí en adelante, se aplica algo muy parecido a la ley de Gresham.) Por consiguiente, esta área ofrece particulares oportunidades tanto para el historiador de la ciencia como para —más todavía— el intelectual en general o el investigador social, cuyas respectivas formaciones

son a menudo de lo más adecuadas a las demandas de estos campos. Las publicaciones preliminares de Stocking, sobre la historia de la antropología en los Estados Unidos, son un ejemplo especialmente provechoso de la perspectiva que el historiador general puede aplicar a un campo científico cuyos conceptos y vocabulario apenas hasta hace poco se han vuelto esotéricos.

La historia externa

Los intentos por ubicar a la ciencia en un contexto cultural que podría mejorar tanto el conocimiento de su desarrollo como de sus efectos han adoptado tres formas características, de las cuales la más antigua es el estudio de las instituciones científicas. Bishop Sprat preparó su precursora historia de la Royal Society of London casi desde antes de que esta organización quedara constituida oficialmente, y a partir de entonces han sido innumerables las historias, "hechas en casa", de las sociedades científicas. Estos libros son útiles principalmente como fuentes de materiales para el historiador, y apenas en este siglo los estudiosos del desarrollo científico han empezado a emplearlos. Al mismo tiempo, han empezado a examinar seriamente los otros tipos de instituciones, en especial las educativas, que pueden promover o inhibir el avance de la ciencia. Como en cualquier otra parte de la historia de la ciencia, la literatura de las instituciones, en su mayoría, trata del siglo XVII. Lo mejor de ella está disperso en publicaciones periódicas (lo que se halla en libros está lamentablemente obsoleto), de las cuales pueden extraerse datos, y otras cosas relativas a la historia de la ciencia, a traves del anuario "Critical Bibliography" de la revista *Isis* y a través del *Bulletin Signalétique*, publicación trimestral del Centre National de la Recherche Scientifique, París. El estudio clásico de Guerlac, sobre la profesionalización de la química en Francia; la historia de la Lunar Society de Schofield; y un reciente volumen escrito en colaboración (Taton), sobre la educación científica en Francia, figuran entre los pocos trabajos sobre las instituciones científicas del siglo XVIII. En cuanto al siglo XIX, únicamente el estudio de Inglaterra, de Cardwell, el de Dupree sobre los Estados Unidos y el de Vucinich sobre Rusia comienzan a remplazar a los comentarios, fragmentarios pero muy sugestivos, a menudo contenidos en notas al pie, que se encuentran en el primer volumen de la *History of European Thought in the Nineteenth Century*, de Merz.

Los historiadores intelectuales han considerado el efecto de la ciencia sobre varios aspectos del pensamiento occidental, en especial durante los siglos XVII y XVIII. Con respecto a la época que se inicia en 1700, sin embargo, estos estudios son peculiarmente insatisfactorios, pues tienden a demostrar la influencia, y no tan sólo el prestigio, de la ciencia. El nombre de un Bacon, un Newton o un Darwin es un símbolo potente: hay muchas razones para invocarlo además de recordar una deuda efectiva. Y el reconocimiento de paralelos conceptuales aislados, por ejemplo, entre las fuerzas que mantienen a un planeta en su órbita y el sistema de comprobaciones y balances de la Constitución de los Estados Unidos, demuestran más bien ingenio interpretativo que la influencia de la ciencia en otras áreas de la vida. No cabe duda que los conceptos científicos, particularmente los muy extensos, sí ayudan a cambiar las ideas extracientíficas. Pero el análisis de su función de producir esta clase de cambio exige sumergirse en la literatura de la ciencia. La antigua historiografía de la ciencia, por su propia naturaleza, no suministra lo que es necesario, y la nueva es tan reciente y tan fragmentarios sus productos, que pocos son los efectos que pueden ejercer. Aunque la brecha parezca pequeña, no hay abismo que más necesite ser salvado que el existente entre el historiador de las ideas y el historiador de la ciencia. Por fortuna, hay unos cuantos trabajos que apuntan hacia ese rumbo. Entre los más recientes figuran los estudios de la ciencia en la literatura de los siglos XVII y XVIII, de Nicolson; la discusión de la religión natural, de Westfall; el capítulo sobre la ciencia en la Ilustración de Gillispie; y la monumental investigación del papel de las ciencias de la vida en el pensamiento francés del siglo XVIII, de Roger.

El interés por las instituciones y el interés por las ideas se entrelazan naturalmente en un tercer enfoque al desarrollo científico. Se trata del estudio de la ciencia en una región geográfica tan pequeña, que permite concentrarse en la evolución de una determinada especialidad técnica, lo suficientemente homogénea como para conocer con claridad la función social y la ubicación de la ciencia. De todos los tipos de historia externa, éste es el más moderno y el más revelador, pues requiere experiencias y habilidad verdaderamente amplias tanto en historia como en sociología. La literatura, pequeña en volumen pero que crece rápidamente, sobre la ciencia en los Estados Unidos (Dupree, Hindle, Shryock), es un ejemplo sobresaliente de este enfoque, y hay la esperanza de que los estudios actuales sobre la ciencia en la Revolución francesa produzcan también un panorama revelador).

Merz, Lilley y Ben-David señalan los aspectos del siglo XIX que más a fondo se han estudiado. Pero el asunto que ha provocado más actividad y reclamado más atención es el desarrollo de la ciencia en la Inglaterra del siglo XVII. Por haberse convertido en el centro del acalorado debate acerca del origen de la ciencia moderna y sobre la naturaleza de la historia de la ciencia, esta literatura amerita que se le analice por separado. Representa aquí un cierto tipo de investigación: los problemas que ofrece darán una perspectiva sobre las relaciones que hay entre los enfoques internos y externos a la historia de la ciencia.

La tesis de Merton

El aspecto más notorio en el debate acerca de la ciencia del siglo XVII está contenido en la llamada tesis de Merton, que en realidad son dos tesis que coinciden parcialmente y poseen fuentes distintas. En última instancia, ambas tienden a explicar la especial productividad de la ciencia del siglo XVII correlacionando sus objetivos y valores novedosos —resumidos en el programa de Bacon y sus seguidores— con otros aspectos de la sociedad de aquella época. En la primera, que algo debe a la historiografía marxista, se subraya la medida en que los baconianos esperaban aprender de las artes prácticas y, a su tiempo, hacer que la ciencia fuese útil. Constantemente estudiaron las técnicas de los artesanos de su época —vidrieros, metalúrgicos, marineros, etc.—, y muchos de ellos le prestaron atención a problemas prácticos y urgentes de la época, por ejemplo, los de la navegación, los del drenaje de tierras y la desforestación. Los nuevos problemas, datos y métodos promovidos por estos nuevos intereses fueron, según Merton, la razón principal de la transformación sustancial experimentada por varias ciencias durante el siglo XVII. En la segunda tesis se recogen las mismas novedades de la época, pero se afirma que el puritanismo fue el estimulante primordial. (No tiene por qué haber conflicto. Max Weber, cuya hipótesis principal investigó Merton, argumenta que el puritanismo contribuyó a legitimar el interés por la tecnología y las artes útiles.) Se dice que los valores de las comunidades puritanas —por ejemplo, la importancia concedida a la salvación a través de obras y a la comunión directa con Dios a través de la naturaleza— fomentaron tanto el interés por la ciencia como la tónica empírica, instrumentalista y utilitarista que caracterizó a dichas comunidades durante el siglo XVII.

Estas dos tesis han sido extendidas y también atacadas vigorosamente pero no ha surgido ningún punto de acuerdo. (Una importante confrontación, que se centra en los artículos de Hall y de Santillana, aparece en el simposio del Instituto para la Historia de la Ciencia, dirigido por Clagett; el artículo de Zilsel sobre William Gilbert puede encontrarse en la colección de artículos pertinentes del *Journal of the History of Ideas* dirigido por Wiener y Noland. En su mayoría, la parte restante de la literatura, que es muy voluminosa, puede investigarse en las notas de pie de página de una controversia reciente sobre el trabajo de Christopher Hill.) En esta literatura, las críticas más persistentes son las dirigidas a la definición y aplicación que hace Merton de la etiqueta "puritano", y ahora parece estar claro que no puede ser útil ningún término tan estrechamente doctrinario en sus consecuencias. Esta clase de dificultades puede eliminarse seguramente; pues la ideología baconiana no se restringió a los científicos ni se propagó uniformemente por todas las clases y regiones de Europa. El rótulo que aplica Merton quizá sea impropio, pero no hay duda de que el fenómeno que describe sí existió. Los argumentos más significativos en contra de su posición son residuos provenientes de la reciente transformación en la historia de la ciencia. La imagen que da Merton de la Revolución científica, aunque ya de largos años, se desacreditó rápidamente mientras escribía, especialmente en el papel atribuido al movimiento baconiano.

Los seguidores de la tradición historiográfica antigua declaran que la ciencia, como ellos la conciben, nada debe ni a los valores económicos ni a las doctrinas religiosas. Sin embargo, la gran importancia que Merton le concede al trabajo manual, la experimentación y la confrontación directa con la naturaleza fueron familiares y afines a ellos. La nueva generación de historiadores, en cambio, asegura haber demostrado que las radicales revisiones, efectuadas durante los siglos XVI y XVII, de la astronomía, las matemáticas, la mecánica y hasta de la óptica debieron muy poco a los nuevos instrumentos, experimentos u observaciones. El método primario de Galileo, argumentan, fue el tradicional experimento pensado de la ciencia escolástica llevado a un nuevo grado de perfección. El ambicioso e ingenuo programa de Bacon fue causa de decepción e impotencia desde el principio. Los intentos por aplicarlo fracasaron repetidamente; las montañas de datos aportadas por los nuevos instrumentos fueron de poca ayuda para la transformación de la teoría científica entonces prevaleciente. Si hacen falta novedades culturales para explicar por qué hombres como Galileo,

Descartes y Newton de pronto fueron capaces de ver, de una nueva manera, fenómenos bien conocidos para ellos, debe observarse que tales novedades son ante todo intelectuales y que incluyen el neoplatonismo del Renacimiento, el resurgimiento del antiguo atomismo y el redescubrimiento de Arquímedes. Pero tales corrientes intelectuales se impusieron y fueron tan productivas lo mismo en la Italia y en la Francia católicas romanas que en los círculos puritanos de Inglaterra u Holanda. Y en ningún sitio de Europa, en donde estas corrientes fueron más fuertes entre los cortesanos que entre los artesanos, muestran deberle algo importante a la tecnología. Si Merton tuviese razón, la nueva imagen de la Revolución científica evidentemente sería errónea.

En sus versiones más detalladas y cuidadosas, que incluyen delimitaciones esenciales, estos argumentos son, hasta cierto punto, enteramente convincentes. Los hombres que transformaron la teoría científica durante el siglo XVII hablaron a veces como baconianos, pero queda todavía por demostrar que la ideología que varios de ellos abrazaron tuvo efectos primordiales, sustanciales o metodológicos, en sus aportaciones capitales a la ciencia. Tales contribuciones se entienden mejor como resultado de la evolución interna de un conjunto de campos que, durante los siglos XVI y XVII, fueron cultivados con renovado vigor y en un nuevo medio intelectual. Esa posición, sin embargo, puede ser pertinente sólo para la revisión de la tesis de Merton, no para rechazarla. Un aspecto del fermento que los historiadores han rotulado como "La Revolución científica" fue un movimiento programático y radical que se centró en Inglaterra y en los Países Bajos, aunque durante cierto tiempo fue visible también en Italia y en Francia. Ese movimiento, que incluso la forma actual del argumento de Merton hace más comprensible, alteró drásticamente el atractivo, el lugar y la naturaleza de gran parte de la investigación científica durante el siglo XVII, y los cambios adquirieron carta de permanencia. Muy probablemente, como argumentan los historiadores contemporáneos, ninguno de estos rasgos novedosos desempeñó un papel importante en la transformación de los conceptos científicos durante el siglo XVII, pero a pesar de ello los historiadores deben aprender a manejarlos. Tal vez resulten útiles las siguientes sugerencias, cuyo valor más general se considerará en la sección siguiente.

Exceptuando a las ciencias biológicas, cuyos vínculos con las artes y las instituciones médicas les imprimen una pauta de desarrollo más compleja, las ramas principales de la ciencia que se transformaron

durante los siglos XVI y XVII fueron la astronomía, las matemáticas, la mecánica y la óptica. El desarrollo de estas disciplinas es lo que hace que la Revolución científica parezca ser una revolución de conceptos. Es significativo, sin embargo, que este conjunto de campos haya estado compuesto exclusivamente de ciencias clásicas. Muy desarrolladas en la antigüedad, encontraron un lugar en el plan de estudios de la universidad medieval, en donde varias de ellas fueron llevadas a grados más altos de desarrollo. Su metamorfosis del siglo XVII, en la cual los hombres formados universitariamente continuaron desempeñando un papel importante, puede pintarse razonablemente como una extensión de una tradición medieval y antigua que se desarrolla en un nuevo ambiente conceptual. Sólo en ocasiones se necesita recurrir al movimiento programático baconiano para explicar las transformaciones de estos campos.

Hacia el siglo XVII, sin embargo, éstas no fueron las únicas áreas de actividad científica intensa, y las otras —entre ellas el estudio de la electricidad y el magnetismo, de la química y de los fenómenos térmicos— muestran una pauta diferente. Como ciencia, como campos que debían ser inspeccionados sistemáticamente para aumentar el conocimiento sobre la naturaleza, todas ellas fueron novedades durante la Revolución científica. Sus raíces principales estaban no en la tradición universitaria aprendida sino, a menudo, en las artesanías establecidas, y todas ellas dependieron, críticamente, tanto del nuevo programa de experimentación como de los nuevos instrumentos que los artesanos contribuyeron frecuentemente a introducir. Salvo algunas veces en las escuelas de medicina, tales disciplinas rara vez encontraron lugar en las universidades antes del siglo XIX, y mientras tanto fueron cultivadas por aficionados mal unificados en torno de las nuevas sociedades científicas que fueron la manifestación institucional de la Revolución científica. Obviamente, estos son los campos, junto con el nuevo modo de práctica que representan, que puede ayudarnos a entender una tesis de Merton revisada. A diferencia de lo que ocurre en las ciencias clásicas, la investigación dentro de estos campos agregó poco al conocimiento de la naturaleza durante el siglo XVII, hecho que es fácil pasar por alto al evaluar el punto de vista de Merton. Pero los logros obtenidos a fines del siglo XVIII y durante el siglo XIX no podrán entenderse hasta que no se tome en cuenta todo lo anterior. El programa baconiano, aunque al principio desprovisto de frutos conceptuales, sirvió para inaugurar varias de las principales ciencias modernas.

HISTORIAS INTERNA Y EXTERNA

Porque subrayan distinciones entre estados anterior y posterior de una ciencia en evolución, estos comentarios acerca de la tesis de Merton ilustran aspectos del desarrollo científico analizados hace poco y en términos generales por Kuhn. En los primeros momentos del desarrollo de un nuevo campo, indica, las necesidades y los valores sociales son el determinante principal de los problemas en los cuales sus practicantes se concentran. También durante este periodo los conceptos que aplican al solucionar problemas están condicionados en gran parte por el sentido común contemporáneo, por la tradición filosófica prevaleciente o por las ciencias contemporáneas de más prestigio. Los nuevos campos que surgieron en el siglo XVII y varias de las modernas ciencias sociales sirven para ejemplificar este punto. Pero, argumenta Kuhn, la evolución posterior de una especialidad técnica difiere significativamente, en formas por lo menos prefiguradas por el desarrollo de las ciencias durante la Revolución científica. Los practicantes de una ciencia madura son hombres formados dentro de un cuerpo complejísimo de teorías e instrumental, matemáticas y técnicas verbales de naturaleza tradicional. A resultas de ello, constituyen una subcultura especial, dentro de la cual sus miembros son el público exclusivo para los trabajos de cada uno de ellos, y de la misma manera los jueces mutuos. Los problemas en los cuales trabajan tales especialistas ya no son los presentados por el resto de la sociedad, sino que pertenecen a una empresa interna consistente en aumentar, en amplitud y precisión, el acuerdo entre la teoría existente y la naturaleza. Y los conceptos empleados para resolver estos problemas son normalmente parientes cercanos de los aprendidos durante la formación para ejercer la especialidad de que se trate. En fin, comparados con otros profesionales y con otras empresas creativas, los practicantes de una ciencia madura están aislados en realidad del medio cultural en el cual viven sus vidas extraprofesionales.

Ese aislamiento, tan especial pero aún incompleto, es la supuesta razón de que el enfoque interno a la historia de la ciencia, considerada autónoma, haya parecido tan cerca del éxito. En una medida que no tiene punto de comparación en otros campos, el desarrollo de una especialidad técnica individual puede entenderse sin trascender la literatura de esa especialidad y unas cuantas de sus vecinas cercanas. Sólo en ocasiones necesita el historiador tomar nota de un concepto, problema o técnica particulares que llegaron de fuera. Sin embargo, la

autonomía aparente del enfoque interno es errónea en sus puntos esenciales, y el apasionamiento con que a veces se le defiende ha oscurecido problemas importantes. El aislamiento de una comunidad científica madura, sugerido en el análisis de Kuhn, es un aislamiento ante todo en relación con conceptos y en segundo lugar con respecto a la estructura del problema. Hay, sin embargo, otros aspectos del avance científico, por ejemplo su oportunidad. Estos otros aspectos sí dependen críticamente de los factores recalcados en el enfoque externo al desarrollo científico. Particularmente cuando se considera a las ciencias como un grupo en interacción, y no como una variedad de especialidades, los efectos acumulativos de los factores externos pueden ser decisivos.

Tanto la atracción de la ciencia como carrera y el atractivo diferente de los distintos campos son, por ejemplo, condicionados significativamente por factores externos a la ciencia. Además, como los progresos efectuados en un campo dependen a veces del desarrollo previo de otro, las diferentes velocidades de crecimiento pueden afectar toda una pauta evolutiva. Consideraciones semejantes a las anteriores desempeñan un papel primordial en el origen y en la forma inicial de las ciencias nuevas. Además, una tecnología nueva, o algún otro cambio en las condiciones de la sociedad, pueden alterar significativamente la importancia percibida de los problemas de una especialidad dada, o incluso crear nuevos problemas para ésta. Al ocurrir esto, a veces se acelera el descubrimiento de áreas en las cuales una teoría establecida debiera funcionar pero no lo hace, con lo que se apresura su rechazo y su sustitución por otra teoría nueva. Ocasionalmente, puede moldearse la sustancia de esa teoría nueva asegurando que la crisis a la cual responde se da en un área del problema, antes que otra. O, también, por la intermediación crucial de una reforma institucional, las condiciones externas pueden crear canales de comunicación nuevos entre especialidades que antes no se relacionaban entre sí, fomentando de este modo la fecundación cruzada que, de otra manera, no hubiera ocurrido o se hubiera demorado largo tiempo.

Hay muchas otras maneras, incluido el subsidio directo, en el cual la cultura en general afecta el desarrollo científico, pero el esquema anterior debe mostrar suficientemente la dirección en la cual debe desarrollarse la historia de la ciencia. Aunque los enfoques interno y externo a la historia de la ciencia tienen una especie de autonomía natural, son, de hecho, intereses complementarios. Mientras no sean practicados como tales, apoyándose mutuamente, es poco probable

que se entiendan aspectos importantes del desarrollo científico. Tal modo de práctica apenas ha empezado, como lo indica la respuesta a la tesis de Merton, pero tal vez se estén aclarando las categorías analíticas que demanda.

LA PERTINENCIA DE LA HISTORIA DE LA CIENCIA

Como conclusión, volvamos a la pregunta de qué juicios deben ser los más personales de todos; puede uno preguntarse entonces acerca del fruto potencial que puede recogerse del trabajo en esta nueva profesión. El primero, y más importante, serán más y mejores historias de la ciencia. Como en cualquier otra disciplina erudita, la primordial responsabilidad de este campo debe ser para consigo misma. Pero signos crecientes de su efecto selectivo sobre otras empresas pueden justificar un breve análisis al respecto.

Entre las áreas relacionadas con la historia de la ciencia, la que más probabilidades tiene de ser afectada significativamente es la propia investigación científica. Los partidarios de la historia de la ciencia describen a veces su campo como un rico depósito de ideas y métodos olvidados, algunos de los cuales bien podrían contribuir a resolver dilemas científicos de la actualidad. Cuando en una determinada ciencia se aplica con éxito un nuevo concepto o una nueva teoría, algún precedente antes ignorado suele descubrirse en la anterior literatura del campo. Es natural preguntarse si el haber recurrido a la historia no hubiese acelerado la innovación. Casi con toda seguridad la respuesta será que no. La cantidad de material por explorar, la falta de índices adecuadamente clasificados y las diferencias sutiles, pero por lo común enormes, entre la previsión y la innovación efectiva, todo esto se combina para sugerir que la reinvención, antes que el descubrimiento, seguirá siendo la fuente más fructífera de novedades científicas.

Los efectos más probables de la historia de la ciencia sobre los campos de los que se ocupa son indirectos, y consisten en aumentar el conocimiento de la propia empresa científica. Aunque es improbable que una captación más clara de la naturaleza del desarrollo científico resuelva determinados acertijos de investigación, sí puede estimular la reconsideración de asuntos como la educación científica, la administración y su política. Pero, probablemente, las ideas implícitas que el estudio histórico puede producir necesitan hacerse primero explícitas por la intervención de otras disciplinas, de las cuales en la actualidad hay tres que parecen ser las más eficaces.

Aunque la intrusión sigue produciendo más calor que luz, la filosofía de la ciencia es hoy en día el campo desde el cual se evidencia más el asunto de la historia de la ciencia. Feyerabend, Hanson, Hesse y Kuhn han insistido últimamente en lo impropia que es la imagen ideal de la ciencia que se ha formado el filósofo tradicional, y todos ellos se han sumergido en la historia en busca de una opción. Siguiendo las direcciones señaladas en los enunciados clásicos de Norman Campbell y Karl Popper —y a veces influidos significativamente también por Ludwig Wittgenstein— han comenzado a plantear problemas que la filosofía de la ciencia ya no puede seguir desatendiendo. La solución de esos problemas queda para el futuro, y quizá para el futuro indefinidamente distante. Todavía no hay una "nueva filosofía" de la ciencia, desarrollada y madura. Y el cuestionamiento de antiguos estereotipos, principalmente positivistas, está impulsando y liberando a algunos profesionales de las ciencias nuevas que en su mayoría han venido dependiendo de cánones explícitos del método científico en su búsqueda de identidad profesional.

Otro campo dentro de la historia de la ciencia que probablemente ejercerá cada vez más efectos es la sociología de la ciencia. En última instancia, ni los intereses ni las técnicas de ese campo tienen que ser históricos. Pero en el actual estado de subdesarrollo de su especialidad, los sociólogos de la ciencia bien pueden aprender de la historia algo sobre la forma de la empresa que investigan. Los recientes escritos de Ben-David, Hagstrom, Merton y otros dan muestras de que así lo están haciendo. Muy probablemente, será a través de la sociología que la historia de la ciencia ejerza su efecto principal sobre la política y la administración de la ciencia.

Íntimamente relacionado con la sociología de la ciencia —quizá equivalente a ésta cuando ambos estén construidos adecuadamente— existe un campo que, aunque en estado embrionario, se describe en términos generales como "la ciencia de las ciencias". Cuyo objetivo, en las palabras de su máximo exponente, Derek Price, es nada menos que "el análisis teórico de la estructura y el comportamiento de la propia ciencia", y sus técnicas son una combinación ecléctica de la del historiador, la del sociólogo y la del economista. Hasta ahora, únicamente puede conjeturarse hasta qué punto es factible ese objetivo, pero todo progreso que hacia él se haga alimentará, inevitable e inmediatamente, la significación de una continuada erudición en la historia de la ciencia, tanto para los científicos sociales como para la sociedad.

Bibliografía

Más material relativo al tema puede encontrarse en las biografías de Koyré y Sarton.

Agassi, Joseph. 1963. *Towards an Historiography of Science*. "History and Theory", vol. 2. La Haya: Mouton.

Ben-David, Joseph. 1960. "Scientific Productivity and Academic Organization in Nineteenth-century Medicine." *American Sociological Review*, 25: 828-843.

Boas, Marie. 1958. *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry*. Cambridge: Cambridge University Press.

Boyer, Carl B. 1949. *The Concepts of the Calculus: A critical and Historical Discussion of the Derivative and the Integral*. Nueva York: Hafner. En 1959, Dover publicó una edición en rústica con el título de *History of the Calculus and its Conceptual Development*.

Butterfield, Herbert. 1957. *The Origins of Modern Science, 1300-1800*. 2ª edición revisada. Nueva York: Macmillan. En 1962, Collier publicó una edición en rústica.

Cardwell, Donald S.L. 1957. *The Organization of Science in England: A Retrospect*. Melbourne y Londres: Heinemann.

Clagett, Marshall. 1959. *The Science of Mechanics in the Middle Ages*. Madison: University of Wisconsin Press.

Cohen, I. Bernard. 1956. *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Esperimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof*. American Philosophical Society. Memorias, vol.43. Filadelfia: The Society.

Costabel, Pierre. 1960. *Leibniz et la dynamique: Les textes de 1692*. París: Hermann.

Crosland, Maurice. 1963. "The Development of Chemistry in the Eighteenth Century." *Studies on Voltaire and the Eighteenth Century*, 24:369-441.

Daumas, Maurice. 1955. *Lavoisier: Théoricien et expérimentateur*. París: Presses Universitaires de France.

Dijksterhuis, Edward J. 1961. *The Mechanization of the World Picture*. Oxford: Clarendon. Publicado primero en holandés en 1950.

Dugas, René. 1955. *A History of Mechanics*. Neuchâtel: Editions du Griffon; Nueva York: Central Book. Publicado primero en francés en 1950.

Duhem, Pierre. 1906-1913. *Études sur Léonard de Vinci*. 3 vols. París: Hermann.

Dupree, A. Hunter. 1957. *Science in the Federal Government: A History of Policies and Activities to 1940*. Cambridge, Mass: Belknap.

———. 1959. *Asa Gray: 1810-1888*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Feyerabend, P. K. 1962. "Explanation, Reduction and Empiricism." En Herbert Feigl y Grover Maxwell, compiladores, *Scientific Explanation, Sapace, and Time*, pp. 28-97. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol.3. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Gillispie, Charles C. 1960. *The Edge of Objectivity: An essay in the History of Scientific Ideas*. Princeton, N. J.: Princeton University Press.

Guerlac, Henry. 1959. "Some French Antecedents of the Chemical Revolution." *Chymia*, 5:73-112.

——— 1961. *Lavoisier; the Crucial Year: The Background and Origin of His First Experiments on Combustion in 1772*. Ithaca, N. Y: Cornell University Press.

Hagstrom, Warren O. 1965. *The Scientific Community*. Nueva York: Basic Books.

Hanson, Norwood R. 1961. *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hesse, Mary B. 1963. *Models and Analogies in Science*. Londres: Sheed & Ward.

Hill, Christopher. 1965. "Debate: Puritanism, Capitalism and the Scientific Revolution." *Past and Present*, 29:68-97. Artículos pertinentes al debate pueden encontrarse también en los números 28, 31, 32 y 33.

Hindle, Brooke. 1956. *The Pursuit of Science in Revolutionary America, 1735-1789*. Chapel Hill: University of North Carolina Press.

Institute for the History of Science, University of Wisconsin, 1957. 1959. *Critical Problems in the History of Science: Proceedings*. Compilado por Marshall Clagett. Madison: University of Wisconsin Press.

Jammer, Max. 1961. *Concepts of Mass in Classical and Modern Physics*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Journal of the History of Ideas. 1957. *Roots of Scientific Thought: A Cultural Perspective*. Compilado por Philip P. Wiener y Aaron Noland. Nueva York: Basic Books. Selecciones de los primeros 18 volúmenes de *Journal*.

Koyré, Alexandre. 1939. *Études Galiléennes*. 3 vols. Actualités scientifiques et industrielles, núms. 852, 853 y 854. París: Hermann. Volumen 1: *A l'aube de la science classique*. Volumen 2: *La loi de la chute des corps: Descartes et Galilée*. Volumen 3: *Galilée et la loi d'inertie*.

—. 1961. *La révolution astronomique: Copernic, Kepler, Borelli*. París: Hermann.

Kuhn, Thomas S. 1962. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press. En 1964 se publicó una edición en rústica.

Lilley, S. 1949. "Social Aspects of the History of Science." *Archives internationales d'histoire des sciences*, 2:376-443.

Maier, Anneliese. 1949-1958. *Studien zur Naturphilosophie der Spätscholastik*. 5 vols. Roma: Ediciones de "Storia e Letteratura".

Merton, Robert K. 1967. *Science, Technology and Society in Seventeenth-Century England*. Nueva York: Fertig.

———. 1957. "Priorities in Scientific Discovery: A Chapter in the Sociology of Science." *American Sociological Review*, 22: 635-659.

Metzger, Hélène. 1930. *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*. París: Alcan.

Meyerson, Emile. 1964. *Identity and Reality*. Londres: Allen & Unwin. Publicado primero en francés en 1908.

Michel, Paul-Henri. 1950. *De Pythagore à Euclide*. París: edición "Les Belles Lettres".

Needham, Joseph. 1954-1965. *Science and Civilisation in China*. 4 vols. Cambridge: Cambridge University Press.

Neugebauer, Otto. 1957. *The Exact Sciences in Antiquity*. 2ª ed. Providence, R.I.: Brown University Press. En 1962 Harper publicó una edición en rústica.

Nicolson, Marjorie H. 1960. *The Breaking of the Circle: Studies in the effect of the "New Science" upon Seventeenth-Century Poetry*. Ed.rev. Nueva York: Columbia University Press. En 1962 se publicó una edición en rústica.

O'Malley, Charles D. 1964. *Andreas Vesalius of Brussels, 1514-1564*. Berkeley y Los Ángeles: University of California Press.

Panofsky, Erwin. 1954. *Galileo as a Critic of the Arts*. La Haya: Nijhoff.

Partington, James R. 1962. *A History of Chemistry*. Nueva York: St. Martins. Los volúmenes 2 a 4 fueron publicados de 1962 a 1964; el volumen 1 está en preparación.

Price, Derek J. de Solla. 1966. "The Science of Scientists." *Medical Opinion and Review*, 1:81-97.

Roger, Jacques. 1963. *Les sciences de la vie dans la pensée française du XVIII^e^ siècle: La génération des animaux de Descartes à l'Encyclopédie*. París: Colin.

Sarton, George. 1927-1948. *Introduction to the History of Science*. 3 vols. Baltimore: Williams & Wilkins.

Schofield, Robert E. 1963. *The Lunar Society of Birmingham: A Social History of Provincial Science and Industry in Eighteenth-Century England*. Oxford: Clarendon.

Shryock, Richard H. 1947. *The Development of Modern Medicine*. 2ª ed. Nueva York: Knopf.

Singer, Charles J. 1922. *The Discovey of the Circulation of the Blood*. Londres: Bell.

Stocking, George W. Jr. 1966. "Franz Boas and the Culture Concept in Historical Perspective." *American Anthropologist*, Nueva Serie 68:867-882.

Taton, René, ed. 1964. *Enseignement et diffusion des sciences en France au XVIII^e^ siècle*. París: Hermann.

Thorndike, Lynn. 1959-1964. *A History of Magic and Experimental Science*. 8 vols. Nueva York: Columbia University Press.

Truesdell, Clifford A. 1960. *The Rational Mechanics of Flexible or Elastic Bodies 1638-1788: Introduction to Leonhardi Euleri Opera* omnia *Vol. X et XI Seriei secundae*. Serie 2, vol. 11, parte 2. Turín: Fussli.

Vucinich, Alexander S. 1963. *Science in Russian Culture*. Volumen 1: *A History to 1860*. Stanford University Press.

Westfall, Richard S. 1958. *Science and Religion in Seventeenth-Century England*. New Haven: Yale University Press.

Whittaker, Edmund. 1951-1953. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. 2 vols. Londres: Nelson. Volumen 1: *The Classical Theories*. Volumen 2: *The Modern Theories, 1900-1926*. El volumen 1 es una edición revisada de *A History of the Theories of Aether and Electricity from the Age of Descartes to the Close of the Nineteenth Century*, publicado en 1910. Harper publicó, en 1960, una edición en rústica.

Yates, Frances A. 1964. *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition*. Chicago: University of Chicago Press.

VI. LAS RELACIONES ENTRE LA HISTORIA Y LA HISTORIA DE LA CIENCIA*

EN LA invitación que recibí para escribir este ensayo, se me pide que trate sobre las relaciones existentes entre mi propio campo y otros tipos de historia. "Por varias décadas", se señala allí, "la historia de la ciencia ha parecido ser una disciplina aparte, con apenas tenues lazos con los otros tipos de estudios históricos." Con tal generalización, errada tan sólo por suponer que la separación no tiene sino unas cuantas décadas, se evidencia el problema con el que he venido luchando tanto intelectual como emocionalmente desde que, hace veinte años, empecé a impartir el curso de la historia de la ciencia. Mis alumnos y mis colegas conocen el problema tan bien como yo; y el hecho de que éste exista influye mucho en la dirección que sigue nuestra disciplina, lo mismo que en su grado de desarrollo. Por extraño que parezca, y pese a que a menudo lo discutimos entre nosotros, no hay nadie que haya hecho antes de este problema un tema de estudio y de discusión públicos. Agradezco, pues, la oportunidad de poder hacerlo aquí. De seguir trabajando aisladamente, los historiadores de la ciencia no podrán resolver el problema central de su campo.

Esto es lo que pienso de mi trabajo y esto determina la forma en que voy a abordarlo. Pues, más que haberlo estudiado, es éste un tema que he vivido. Y por eso los datos que expongo para analizarlo no son tan sistemáticos como personales y producto de impresiones. De esto resulta, entre otras cosas, que me limitaré a estudiar la situación en los Estados Unidos. Trataré de no ser parcial, pero sin la esperanza de lograrlo cabalmente, pues me considero un defensor de mi disciplina, un hombre bastante comprometido en la lucha contra los impedimentos del desarrollo y la explotación de su propio campo.

A pesar de la fingida defensa que los historiadores hacen del papel especial que ha tenido la ciencia en el desarrollo de la cultura occidental durante los últimos cuatro siglos, la historia de la ciencia es para ellos, todavía, un territorio desconocido. En muchos casos, tal vez la

* Reimpreso con autorización de *Daedalus*, 100 (1971): 271-304, *Copyright* 1971, de The American Academy of Arts and Sciences.

mayoría, esa resistencia al conocimiento de dicho territorio no causa daños visibles, porque el desarrollo científico tiene al parecer poca importancia para muchos de los principales problemas de la historia occidental moderna. Pero los hombres que estudian el desarrollo socioeconómico o los que discuten los cambios en los valores, las actitudes y las ideas, sí le han prestado atención a las ciencias y es de esperarse que sigan haciéndolo así. Sin embargo y como regla general, ven la ciencia desde fuera, sin atreverse a entrar en ella, perdiendo así la oportunidad de conocer el continente de que tanto hablan. Esa resistencia causa daño, tanto a su propio trabajo como al desarrollo de la ciencia.

Para plantear el problema en términos precisos, empezaré este ensayo dibujando la frontera que ha separado, desde tiempos remotos hasta nuestros días, los campos tradicionales de los estudios históricos de la historia de la ciencia. Admitiendo que parte de esa separación se debe simplemente al tecnicismo intrínseco de la ciencia, voy a tratar de aislar y de estudiar las consecuencias de la gran división que existe todavía y que requiere ser explicada de otra manera. Al buscar estas explicaciones, comenzaré con algunos aspectos de una historiografía tradicional de la ciencia, que ha sido rechazada una y otra vez y que en ocasiones ha llevado a los historiadores a conclusiones erróneas.

Como esa tradición pasó de moda hace un cuarto de siglo, no puede por sí sola explicar la posición de los historiadores contemporáneos. Un entendimiento más completo dependerá también del estudio de aspectos seleccionados de la estructura y la ideología tradicionales de la profesión histórica, temas que serán tratados brevemente en la penúltima sección de este trabajo. Para mí, las raíces sociológicas de la división que se analiza allí tienen un papel decisivo, y es difícil imaginar cómo se resolverá el problema. A pesar de ello, al terminar mi ensayo, hablaré de algunos acontecimientos recientes, ocurridos principalmente en mi propio campo, y anunciadores de que al menos habrá una conciliación parcial durante la próxima década.

¿Qué es lo que se tiene en mente al hablar de la historia de la ciencia como "una disciplina aparte"? Por un lado, que casi ningún estudiante de historia le presta atención. Desde 1956, mis propios cursos de historia de la ciencia se han catalogado comúnmente entre los cursos de historia del departamento del que formo parte. Aun en esos cursos solamente un estudiante de cada veinte ha sido estudiante o graduado

de historia, exceptuando a los de historia de la ciencia. La mayoría de los que se apuntaron fue de científicos o de ingenieros. Entre los restantes, los de filosofía y los de ciencias sociales sobrepasaron en número a los de historia, siguiéndolos de cerca los de literatura. Por otra parte, en los departamentos de historia en que he trabajado, el área de historia de la ciencia ha sido una opción de campo menor para los historiadores que presentan sus exámenes generales para graduarse. Únicamente recuerdo que cinco estudiantes hayan tomado tal decisión en catorce años; una verdadera desgracia, porque estos exámenes proporcionan un camino hacia la conjunción de disciplinas. Por algún tiempo, temí que la causa fuese mía, porque mis estudios fueron de física más que de historia, y mi manera de enseñar probablemente conservaba residuos. Pero todos los colegas con quienes he comentado la lamentable situación, muchos de ellos historiadores graduados, me informaron haber padecido experiencias idénticas. Lo que es más, la materia que ellos enseñan parece no tener importancia alguna. Los cursos sobre la Revolución científica o sobre la ciencia en la Revolución francesa no parecen tener mayor atractivo para los futuros historiadores que los cursos sobre el desarrollo de la física moderna. Parece ser que la palabra "ciencia" en un título es suficiente para alejar a los estudiantes de historia.

Estos fenómenos tienen un corolario, igualmente revelador. Aunque la historia de la ciencia sigue siendo un campo pequeño, ha crecido más de diez veces en los últimos quince años, principalmente durante los últimos ocho. La mayoría de los nuevos miembros de esta disciplina son enviados a departamentos de historia, lo cual es, como más adelante instaré, el lugar al que ellos pertenecen. Pero la presión ejercida para que sean empleados allí casi siempre viene desde fuera del departamento al cual suelen ser comisionados. Comúnmente, la iniciativa parte de científicos y filósofos, quienes deben de persuadir a la administración universitaria para que agregue una nueva rama a la historia. Únicamente después de que esa condición se cumple, es cuando se designa a un historiador de la ciencia a ese departamento. De ahí en adelante, lo común es que lo traten con gran cordialidad; ningún grupo me ha recibido mas calurosamente ni me ha proporcionado mejores amistades que mis colegas de historia. A pesar de ello, y de formas más sutiles, se le hace guardar cierta distancia intelectual. Por ejemplo, en ocasiones he tenido que defender el trabajo de un colega o un alumno del ataque de algún historiador que alega que tal cosa no es realmente historia de la ciencia, sino puramente historia.

De manera vaga, pero concediéndole quizá gran importancia, hasta los historiadores de la ciencia con más años esperan que el historiador de la ciencia no sea del todo un historiador.

Las observaciones anteriores nos hablan de los índices sociales del separatismo. Vemos ahora algunas de sus consecuencias pedagógicas e intelectuales. Éstas parecen ser principalmente de dos clases, ninguna de las cuales puede examinarse en gran detalle mientras no se vea hasta qué grado son meramente resultados inevitables del tecnicismo intrínseco de las fuentes científicas. Aun una descripción vaga en este momento dejará entrever hacia dónde se dirige mi argumentación.

Una consecuencia general del separatismo ha sido la renuncia a la responsabilidad de la evaluación y la descripción del papel de la ciencia en el desarrollo de la cultura occidental desde fines de la Edad Media. El historiador de la ciencia puede y debe hacer contribuciones esenciales a esa tarea, al menos proveyendo de libros, monografías y artículos que serán las fuentes principales para otros tipos de historiadores. Pero, puesto que su primer compromiso es para con su especialidad, el estudiante del desarrollo científico no es más responsable de la tarea de integración, que el historiador de las ideas o del desarrollo socioeconómico, aunque esté menos bien equipado que estos últimos para tal empresa. Lo que se necesita es una interpenetración crítica de los intereses y logros de los historiadores de la ciencia con los de los hombres que cultivan otros campos históricos, y tal interpenetración, si ya ha comenzado a darse, no es aún evidente en el trabajo de los historiadores en general. Y no basta con el reconocimiento generalizado de que la ciencia, de alguna manera, ha sido de suma importancia para el desarrollo de la moderna sociedad occidental. Tal reconocimiento, junto con los pocos ejemplos tradicionales utilizados para ilustrarlo, suele resultar exagerado y, por regla general, distorsiona la naturaleza, el grado y la duración del papel de las ciencias.

Los estudios sobre el desarrollo de la civilización occidental nos dan una muestra de las principales consecuencias de la falta de interpenetración. Tal vez la más sorprendente de éstas sea la indiferencia por el desarrollo científico desde 1750, periodo durante el cual la ciencia asumió su papel principal de importante motor histórico. Un capítulo sobre la Revolución industrial —la relación de ésta con la ciencia es de suyo interesante, vaga y escasamente discutida— precede comúnmente a una sección sobre darwinismo, con un enfoque social. ¡A menudo eso es todo! Casi la totalidad del espacio designado a la ciencia, prácticamente en todos los libros de la historia general, está

dedicado a los años anteriores a 1750, un desajuste con consecuencias desastrosas al cual volveré más adelante.[1]

El desdén por la ciencia, aunque menos extremoso, caracterizó también las discusiones sobre la historia europea anterior a 1750. Con respecto a la distribución del espacio, ese descuido ha sido rectificado en gran medida desde la aparición, en 1949, del admirable libro de Herbert Butterfield, *Origins of Modern Science*. Hasta hoy, casi todos los estudios han llegado a incluir un capítulo o una sección importante acerca de la Revolución científica de los siglos XVI y XVII. Pero en esos capítulos a menudo no se reconoce, y mucho menos confronta, la principal novedad historiográfica que Butterfield descubrió en la literatura común de los especialistas e hizo accesible a un público mayor: el papel relativamente menor de los nuevos métodos experimentales en los campos sustantivos de la teoría científica durante tal revolución. Aún hoy, se encuentran dominados por los mitos antiguos sobre el papel del método, a cuyas consecuencias volveré más adelante.[2]

Tal vez sea cierto sentido de esta deficiencia lo que hace que los historiadores se muestren renuentes a dar conferencias que complementen el estudio del nacimiento de la ciencia moderna por medio de la lectura. En ocasiones, si no pueden encontrar a un historiador de la ciencia para llenar ese hueco, simplemente asignan capítulos sobre Butterfield como suplemento y posponen la discusión para juntas departamentales. Fue Butterfield o "La bomba" lo que persuadió a los historiadores de que deberían tomar más en serio el papel de la ciencia, y éstos tratan de salir del paso con una gran cantidad de material acerca de la Revolución científica. Pero los capítulos que así producen rara vez reflejan un conocimiento de los problemas que su

[1] Roger Hahn me ha persuadido de que hay unos cuantos libros, muy recientes, que muestran signos de cambio. Quizá es que estoy *meramente* impaciente. Pero el progreso realizado en los últimos seis años, en caso de ser real, me sigue pareciendo demorado, disperso e incompleto. ¿Por qué, por ejemplo, un libro como *Making of the Modern Mind*, de J. H. Randall, cuya primera edición data de una fecha tan extemporánea como 1926, tiene que ser superado todavía con una exploración equilibrada del papel de la ciencia en el desarrollo del pensamiento occidental?

[2] Hay un aspecto de la exposición de Butterfield que, en efecto, me ha ayudado a preservar los mitos. Las novedades historiográficas a las que se tiene acceso mediante su libro están concentradas en los capítulos 1, 2 y 4, dedicados al desarrollo de la astronomía y la mecánica. Tales novedades, sin embargo, se hallan yuxtapuestas a relaciones tradicionales de ideas metodológicas de Bacon y Descartes, e ilustradas a un capítulo sobre William Harvey. Son difíciles de reconciliar las dos versiones de los requisitos para una ciencia transformada, hecho que se evidencia paladinamente con el análisis que hace Butterfield de la revolución química.

material ha legado a las generaciones recientes de especialistas académicos. Comúnmente, los estudiosos deben buscar en otras fuentes las normas críticas adoptadas por la profesión.

Descuidar la literatura de los especialistas actuales no es más que una parte del problema y tal vez no la más seria. De mayor importancia es la selectividad peculiar con la que los historiadores abordan las ciencias, ya sea a través de fuentes primarias o secundarias. Al tratar con la música o las artes plásticas, el historiador puede leer las anotaciones de los programas y los catálogos de exhibiciones, pero además puede escuchar las sinfonías y mirar las pinturas, y sus análisis, cualesquiera que sean sus fuentes, están dirigidos a ellas. Al tratar con las ciencias, sin embargo, lee y *discute* trabajos de cajón casi exclusivamente: el *Novum organum* de Bacon, pero generalmente el libro 1 (los ídolos) en vez del libro 2 (el calor como movimiento); el *Discurso del método* de Descartes, pero no los tres importantes ensayos de los cuales aquél es la introducción; el *Assayer* de Galileo, pero solamente las páginas introductorias de sus *Dos nuevas ciencias*, y así sucesivamente.

El mismo criterio de selección se muestra en el interés del historiador por los trabajos secundarios : de Alexandre Koyré se lee *From the Closed World to the Infinite Universe*, y no sus *Études galiléennes* o *The Problem of Fall*; de E. A. Burtt, *Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, pero no la obra magistral de E. J. Dijksterhuis, *Mechanization of the World Picture*.[3] Aun en los trabajos individuales se encuentra una marcada tendencia, que ejemplificaré más adelante, a evitar los capítulos que tratan sobre las contribuciones técnicas.

No estoy sugiriendo que lo que los científicos dicen acerca de lo que hacen nada tenga que ver con su quehacer y sus logros concretos. Tampoco estoy diciendo que los historiadores deberían suprimir la

[3] Con la siguiente observación puede aclararse el asunto que pretendo exponer. En las artes, los que crean y los que critican pertenecen a grupos distintos, y, a menudo, hostiles. A veces, los historiadores confían excesivamente en estos últimos, pero saben la diferencia que hay entre críticos y artistas, y cuidan de familiarizarse también con las obras de arte. En las ciencias, por otra parte, los equivalentes más cercanos a los trabajos de los críticos son escritos de los propios científicos, por lo común prefacios o ensayos. Ordinariamente, los historiadores confían *exclusivamente* en estos trabajos de crítica, y no se percatan, porque sus autores fueron también científicos creativos, de que con esa selección la ciencia se queda fuera. Sobre la significación de las funciones diferentes del crítico de la ciencia y del crítico de arte, véase mi "Comentario [sobre las relaciones de la ciencia con el arte]", en *Comparative Studies in Society and History*, 11 (1969): 403-412. (Este último ensayo es precisamente el capítulo final del presente libro [t.].)

lectura y la discusión de los trabajos programáticos. Pero, como las notas al programa deberían indicar, la relación de los prefacios y los escritos programáticos con la ciencia sustancial rara vez es literal y siempre es problemática. Por supuesto, deben leerse los primeros, porque las más de las veces son el medio a través del cual las ideas científicas llegan a un mayor público. Pero, con frecuencia, son confusas con respecto a las series completas que el historiador debería tratar, y que a menudo sólo finge hacer: ¿de dónde provienen las ideas científicas que alcanzan influencia? ¿Qué es lo que les da su autoridad y especial atracción? ¿Hasta qué punto continúan siendo las mismas ideas al volverse patrimonio de toda una cultura? Y, finalmente, si su influencia no es literal, ¿en qué sentido pertenece realmente a la ciencia a la cual se le adjudica?[4] En resumen, el impacto intelectual en el pensamiento extracientífico no será entendido sin poner atención al mismo tiempo a la corteza técnica de la ciencia. El que los historiadores intenten tal ardid nos sugiere que una parte esencial de lo que hasta aquí se ha descrito como una ruptura entre la historia y la historia de la ciencia puede verse, más propiamente, como una barrera entre los historiadores en conjunto y las ciencias. A este punto, volveré más adelante.

Antes de mirar más de cerca la forma en que los historiadores enfocan las ciencias, debo preguntar primero cuánto puede, razonablemente, esperarse de ellos. Esta pregunta a su vez nos pide separar tajantemente los problemas de la historia intelectual, por un lado, y los de la historia socioeconómica, por el otro. Veámoslos en orden.

La historia intelectual es el área en que la selectividad del historiador con respecto a las fuentes tiene sus efectos principales. Es de preguntarse si hay otra opción. Exceptuando a los historiadores de la ciencia, entre los cuales las habilidades que se requieren son también relativamente raras, casi ningún historiador tiene los estudios que se necesitan para leer, digamos, los trabajos de Euler y Lagrange, Maxwell y Boltzmann, o Einstein y Bohr. Pero ésta es una lista muy especial en varios sentidos. Todos los que figuran en ella son físicos matemáticos; el más viejo de ellos nació en la primera década del siglo XVIII; y ninguno, hasta donde puedo ver, ha ejercido más que un

[4] Para un ejemplo de la clase de aclaración que puede hacer alguien que conozca la ciencia y su historia, véase la discusión del papel de la ciencia durante la Ilustración, de C. C. Gillispie, *The Edge of Objectivity* (Princeton: Princeton University Press, 1960), cap. 5

impacto leve e indirecto sobre el desarrollo del pensamiento extracientífico.

Este último punto, que es decisivo, quizá sea discutible y, en última instancia, equivocado con respecto a Einstein y Bohr. Las discusiones sobre el escenario intelectual contemporáneo a menudo recurren a la relatividad y a la teoría de los cuantos para analizar temas como las limitaciones de la ciencia y de la razón. Aun así, los argumentos a favor de la influencia directa —en contra de la apelación a la autoridad al apoyar los puntos de vista mantenidos por otras razones— han sido, hasta ahora, bastante forzados. Mi propia sospecha, la cual me da al menos una hipótesis de trabajo razonable, consiste en que, después de que una ciencia se vuelve por completo técnica, en especial matemáticamente técnica, su papel como fuerza en la historia intelectual se vuelve relativamente insignificante. Probablemente existan excepciones, y si éstas son Einstein y Bohr, entonces las excepciones prueban la regla. Cualquiera que haya sido su papel, es muy diferente del de, digamos, Galileo, Descartes, Lyell, Playfair, Darwin o, en todo caso, Freud, quienes han sido leídos por un público laico. Si el historiador intelectual debe estudiar a los científicos, los citados son, en general, los pioneros en el desarrollo de sus campos.

Precisamente porque los personajes sobre los que debe tratar son los precursores, nada tiene de raro que el historiador intelectual pueda manejarlos en profundidad si así lo desea. El trabajo no sería sencillo; pero no estoy negando la intensidad del esfuerzo sino, tan sólo, que no hay otra forma. Tampoco sería responsable que cada historiador lo intentara sin tomar en cuenta sus propios intereses. Pero el hombre entre cuyos intereses están las ideas afectadas por el desarrollo científico bien podrían estudiar las fuentes científicas a las que no hace otra cosa que citar. Muy poca de la literatura técnica escrita antes de 1700 es en principio inaccesible a cualquiera que posea sólidos conocimientos científicos al nivel de bachillerato, siempre y cuando esté dispuesto a echarse encima un poco de trabajo adicional mientras estudia. Para el siglo XVIII la misma base científica es adecuada para la literatura de la química, la física experimental (particularmente la electricidad, la óptica y el calor), la geología y la biología; en fin, toda la ciencia, exceptuada la mecánica matemática y la astronomía. Para el siglo XIX, la mayoría de las físicas y gran parte de la química se vuelven excesivamente técnicas, pero los poseedores de conocimientos científicos de bachillerato tendrán acceso a casi toda la literatura de la geología, la biología y la psicología. Téngase en cuenta, sin embargo, que no estoy

sugiriendo que el historiador tenga que convertirse en un historiador de la ciencia cada vez que un avance científico se vuelve determinante para el tema que estudia. Aquí, como en todos los demás campos, la especialización es inevitable. Pero, en principio, podría hacerlo así; y por tanto podría dirigir acertadamente la lectura secundaria especializada en su tema. Al no hacer ni siquiera eso, omite los elementos esenciales y los problemas del avance científico; y el resultado, como pronto lo indicaré, se mostrará en su trabajo.

La lista anterior de temas accesibles al historiador intelectual es reveladora en dos aspectos. Primero, como ya se señaló, incluye todos los asuntos técnicos que se estudian, y que él, como historiador intelectual, desea tratar. Segundo, se compagina con la lista de los campos más y mejor analizados por los historiadores de la ciencia. Al contrario de una impresión muy difundida, los historiadores de la ciencia rara vez han tratado en profundidad el desarrollo de las materias técnicamente más avanzadas. Los estudios de historia de la mecánica son escasos desde el día de la publicación de los *Principia* de Newton; las historias sobre electricidad comienzan con Franklin o, a lo más, con Charles Coulomb; las de la química, con Antoine Lavoisier o John Dalton; y así en otros campos. Las excepciones principales, aunque no las únicas, son los compendios partidistas hechos por científicos, algunas veces invaluables como trabajos de referencia, pero, por otro lado, virtualmente inútiles para quien esté interesado en el desarrollo de las ideas. Por lamentable que sea, ese desequilibrio a favor de las materias relativamente no técnicas a nadie debiera sorprender. La mayoría de los hombres que han producido los modelos que los historiadores de la ciencia contemporánea tratan de imitar no han sido científicos ni tenido la preparación científica indispensable. Sin embargo, es interesante saber que su formación tampoco ha sido dentro del campo de la historia; luego los historiadores son quienes han hecho el trabajo, y probablemente mejor, ya que sus intereses no habrían estado tan reducidamente enfocados en lo conceptual. Aquéllos proceden del campo de la filosofía, aunque, en su mayoría, como Koyré, de las escuelas continentales, en donde la división entre la historia y la filosofía no es tan profunda como en el mundo de habla inglesa. Todo esto sugiere, una vez más, que una parte, central, del problema al que se dirige este escrito proviene de las actitudes de los historiadores hacia la ciencia.

Voy a explorar estas actitudes más adelante, ya al final de este ensayo. Pero antes voy a preguntar si existe alguna diferencia para el

desarrollo de la tarea que los historiadores intelectuales enfrentan. Obviamente, no la hay en una gran proporción de casos que se relacionan con ideas científicas tan sólo en forma marginal, o bien que son ajenos a ellas. En gran cantidad de otros casos, sin embargo, debilidades características resultan de lo que describí como historia derivada predominantemente de prefacios y de trabajos programáticos. Cuando se analizan las ideas científicas sin hacer mención a los problemas técnicos concretos contra los cuales fueron inventadas, lo que resulta es una noción indudablemente errada de la forma en que se desarrollan las teorías científicas y chocan contra el medio extracientífico.

Un ejemplo muy claro de enfoque erróneo es el que resulta de los estudios sobre la Revolución científica, incluidos los de muchos viejos historiadores de la ciencia: la exagerada importancia que se le concede al papel de los nuevos métodos, particularmente a la capacidad del mero experimento para crear, por sí mismo, nuevas teorías científicas. Al leer sobre la interminable polémica desatada por la llamada tesis de Merton, me deprime el descubrir la falta de coincidencia acerca de lo que se debate. Lo que realmente se está discutiendo, según yo, es una explicación del surgimiento y predominio del movimiento baconiano en Inglaterra. Tanto los defensores como los críticos de la tesis de Merton dan por establecido que la explicación del surgimiento de una nueva filosofía experimental equivale a una explicación del desarrollo científico. Desde este punto de vista, si el puritanismo, o cualquier otra nueva tendencia dentro de la religión incrementara la dignidad del trabajo manual y fomentara la búsqueda de Dios en sus obras, entonces automáticamente estaría fomentando la ciencia. A la inversa, si la ciencia de primera categoría se hiciera en los países católicos, entonces a ningún movimiento religioso protestante podría atribuírsele el surgimiento de la ciencia del siglo XVII.

Esa polarización de todo o nada es innecesaria y bien podría ser falsa. Algo importante que puede argumentarse contra la tesis de Merton es que el experimentalismo baconiano relativamente tuvo poco que ver con los cambios principales que dentro de la teoría caracterizaron a la Revolución científica. La astronomía y la mecánica se transformaron con experimentos sencillos, y ninguna de ellas con nuevas fuentes de experimentación. En la óptica y la fisiología el experimento tuvo un papel más importante, pero los modelos no fueron baconianos sino más bien clásicos y medievales: Galeno en la fisiología, Tolomeo y Alhazen en la óptica. Éstos, junto con las matemáticas, agotan la lista de campos en donde la teoría se transformó radicalmente durante la

Revolución científica. Con respecto a su práctica, ni del experimentalismo ni de su correlato religioso putativo se podría esperar que hiciera gran diferencia.

Desde este punto de vista, aun cuando sea correcto, no puede restársele importancia ni al movimiento baconiano ni a los nuevos movimientos religosos en relación con el desarrollo científico. Lo que sí sugiere es que el papel de los nuevos métodos y valores baconianos no es el de producir nuevas teorías en las ciencias establecidas, sino el de abrir nuevos campos a la exploración científica, a menudo aquellos cuyos orígenes se encuentran en los oficios y artesanías antiguos (por ejemplo, el magnetismo, la química, la electricidad y el estudio del calor). Esos campos, sin embargo, sufrieron un reordenamiento teórico de poca importancia antes de mediados del siglo XVIII, época en la que uno debe tener la esperanza de descubrir que el movimiento baconiano en las ciencias no era, de ninguna manera, un fraude. El hecho de que Inglaterra, en lugar de la Francia católica, especialmente después de la derogación del Edicto de Nantes, desempeñara el papel predominante en el ordenamiento de estos campos baconianos, más nuevos, puede indicar que una tesis de Merton revisada resultará muy informativa. Es posible que aun nos ayude a entender por qué un viejo aforismo acerca de la ciencia continúa resistiendo el más exhaustivo examen: al menos de 1700 a 1850, la ciencia británica fue predominantemente experimental y mecánica; la francesa, matemática y racionalista. Además, puede decirnos algo acerca de los papeles muy especiales desempeñados por Escocia y Suiza en el desarrollo científico del siglo XVIII.

El que los historiadores hayan tenido tales dificultades aun para imaginarse posibilidades como éstas se debe, creo, y al menos en parte, a la difundida convicción de que los científicos descubren la verdad por aplicaciones casi mecánicas (y tal vez no muy interesantes) del método científico. Habiendo considerado el descubrimiento del método en el siglo XVII, el historiador puede, y de hecho así lo hace, dejar que las ciencias cambien por sí mismas. Esa actitud, sin embargo, no puede ser completamente consciente, porque un resultado más de la historia de prefacios no es compatible con ella. En las raras ocasiones en que van de los métodos científicos a la sustancia de las nuevas teorías científicas, los historiadores, invariablemente, parecen dar excesiva importancia al papel del clima exterior a las ideas extracientíficas. No voy a discutir que ese clima no tenga importancia alguna para el desarrollo científico. Pero, excepto en las etapas rudi-

mentarias del desarrollo de un campo, el medio en que se da la actividad intelectual reacciona sobre la estructura teórica de una ciencia únicamente en la medida en que lo ameritan los problemas técnicos concretos a los que se enfrentan los profesionales de ese campo. Los historiadores de la ciencia, en el pasado, pueden haberse ocupado en exceso de esa corteza técnica, pero los historiadores han ignorado por completo su existencia. Saben que está allí, pero actúan como si fuera un mero producto de la ciencia —del método apropiado que actúa en el medio ambiente adecuado— y no el más esencial de todos los determinantes del desarrollo de una ciencia. Lo que resulta de ese enfoque nos recuerda la historia del traje nuevo del emperador.

Permítaseme citar dos ejemplos concretos. Tanto los historiadores intelectuales como los historiadores del arte describen a menudo las nuevas corrientes intelectuales del Renacimiento, especialmente el neoplatonismo, gracias al cual fue posible que Kepler introdujera la elipse en la astronomía, rompiendo así con la visión tradicional de las órbitas compuestas de movimientos circulares perfectos. Desde este punto de vista, las observaciones neutrales de Tycho, más el medio ambiente intelectual del Renacimiento, produjeron las leyes de Kepler. Lo que por lo general se omite es el hecho elemental de que las órbitas elípticas habrían sido aplicadas inútilmente a cualquier modelo astronómico geocéntrico. Antes de que el uso de las elipses pudiera transformar la astronomía, el sol tuvo que remplazar a la Tierra como centro del universo. Ese paso, sin embargo, no se dio hasta medio siglo antes de los estudios de Kepler, y a éstos el nuevo clima *intelectual* del Renacimiento únicamente les hizo contribuciones ambiguas. Sigue en pie la interrogante, tan sugestiva como vital, de si Kepler hubiera llegado o no al método de las elipses sin ayuda del neoplatonismo.[5] El contar la historia desatendiendo cualquiera de los factores técnicos de los que depende la respuesta equivale a tergiversar la manera como las leyes y las teorías científicas entran en el dominio de las ideas.

Un ejemplo más importante con el mismo resultado nos lo dan las consabidas discusiones sobre el origen de la teoría de la evolución de Darwin.[6] Lo que se necesitó, se nos dice, para transformar la estática

[5] T. S. Kühn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1957), pp. 135-143. N. R. Hanson, *Patterns of Discovery*(Cambridge: University Press, 1958), cap. 4. Nótese que hay otros aspectos del pensamiento de Kepler respecto de los cuales la pertinencia del neoplatonismo está fuera de toda duda.

[6] Véase, por ejemplo, R. M. Young, "Malthus and the Evolutionists: The Common Context of Biological and Social Theory", *Past and Present*, núm. 43 (1969), pp. 109-145,

cadena de seres vivos en una escalera siempre dinámica fue la validez de ideas como las de la perfectibilidad infinita y el progreso, la libertad de competencia de la economía de Adam Smith y, sobre todo, los análisis de la población de Malthus. No dudo que factores de este tipo hayan tenido importancia vital; quien lo cuestione haría bien en preguntarse cómo, sin esas ideas, el historiador podría comprender, particularmente en Inglaterra, las teorías evolucionistas predarwinianas como las de Erasmus Darwin, Spencer y Robert Chambers. Aun esas teorías especulativas fueron anatema para todos los científicos a quienes Charles Darwin logró persuadir, durante el tiempo que empleó en elaborar su teoría evolucionista, de que ésta era un ingrediente normal en la herencia intelectual de Occidente. Lo que Darwin hizo, a diferencia de sus predecesores, fue mostrar cómo debían aplicarse los conceptos evolucionistas al conjunto de observaciones que se habían ido acumulando durante la primera mitad del siglo XIX y, al margen de las ideas evolucionistas, estaban poniendo en jaque a varias especialidades científicas reconocidas. Esta parte de la historia de Darwin, sin la cual no puede entenderse su totalidad, exige un análisis del estado cambiante, durante las décadas anteriores al *Origen de las especies*, de campos como la estratigrafía y la paleontología, los estudios sobre la distribución geográfica de animales y vegetales, y el de los sistemas clasificatorios, cada vez más útiles, en los que se fueron sustituyendo las semejanzas morfológicas por el paralelismo de funciones de Linneo. Los hombres que, al desarrollar los sistemas naturales de clasifi-

ensayo que guía hacia la literatura reciente sobre el darwinismo. Nótese, sin embargo, una ironía que ilustra los problemas de percepción que estamos tratando. Young comienza deplorando las suposiciones, muy difundidas entre "los historiadores de la ciencia y también los demás. . . de que las ideas y los hallazgos científicos pueden tratarse como unidades relativamente bien definidas y con límites claramente establecidos . . . [y] que los factores 'no científicos' [han] desempeñado papeles poco importantes en darle forma al desarrollo de las ideas científicas". Su artículo trata de ser "un estudio de caso que se propone romper las barreras en una pequeña área entre la historia de la ciencia y otras ramas de la historia". Obviamente, ésta es la clase de aportación a la que yo le daría una bienvenida muy especial. Sin embargo, Young no cita casi ninguna literatura que tienda a explicar el surgimiento del darwinismo en respuesta al desarrollo de ideas o técnicas *científicas*, y en realidad es que hay muy poco que citar. Tampoco hace ningún intento, en su escrito, por tratar los problemas técnicos que pueden haber contribuido a moldear el pensamiento de Darwin. Muy probablemente, será durante algún tiempo la descripción autorizada de la influencia de Malthus sobre el pensamiento de la evolución, pues es de todo punto erudito y penetrante. Pero lejos de pretender romper barreras, pertenece a una tradición historiográfica bastante ordinaria que ha hecho mucho por conservar la separación que Young deplora.

cación, hablaron por primera vez del zarcillo como hojas "abortadas", o que explicaron los diferentes números de ovarios en las especies de plantas emparentadas entre sí, refiriéndose a la "adherencia", en una especie, de órganos separados en otra, no eran evolucionistas en ningún sentido. Pero sin su trabajo, el *Origen de las especies* de Darwin pudo haber llegado a su forma final, o no haber logrado el impacto tan tremendo en los públicos científico y lego.

Concluiré esta parte de mi exposición con un último punto. Ya dije que, al explicar la génesis de las nuevas teorías científicas, la importancia que se le atribuyó al método y al intelectual extracientífico no eran del todo compatibles. Agregaré que, en el nivel fundamental, los dos factores parecen ser de idénticos efectos. Ambos producen un partidarismo aparentemente incurable que le permite al historiador descartar por supersticiosos todos los antecedentes de las ideas con las que trabaja. La validez del círculo en la imaginación astronómica debe de ser entendida como producto del apasionamiento platónico por la perfección geométrica, perpetuado por el dogmatismo medieval; la permanencia en la biología de la idea de las especies fijas debe ser entendida como el resultado de una lectura excesivamente literal del Génesis. Lo que falta en la primera explicación es la referencia a los sistemas astronómicos sobrios y con gran poder de predecibilidad, fundados en el círculo, logro que Copérnico no pudo mejorar por sí solo. Lo que falta en la segunda es el reconocimiento de que la existencia observada de especies distintas, sin la cual no podría haber ninguna empresa taxonómica, se vuelve extremadamente difícil de entender a menos que los miembros actuales de cada una de ellas desciendan de una pareja original. Desde Darwin, la definición de las categorías taxonómicas básicas, como la especie y el género, se ha convertido en más o menos arbitraria, ha permanecido así y ha resultado fuente extraordinaria de problemas. Al contrario, una raíz técnica del trabajo de Darwin es la creciente dificultad, durante principios del siglo XIX, de aplicar estas herramientas clasificatorias modelo a un conjunto de datos que habían crecido enormemente, debido, entre otras cosas, a la exploración del Nuevo Mundo y del océano Pacífico. En resumen, las ideas que el historiador desecha por calificarlas de supersticiones suelen resultar elementos vitales en sistemas científicos antiguos que arrojaron buenos resultados. Cuando esto sucede, la aparición de sustitutos no puede ser entendida como una mera consecuencia de la aplicación de un buen método en un medio intelectual favorable.

He hablado hasta ahora del efecto de la historia antigua en el hombre que se interesa por darle a la ciencia un lugar en la historia intelectual. Yendo ahora hacia los puntos de vista comunes sobre el papel socioeconómico de la ciencia, encontramos una situación muy diferente. Lo que le falta al historiador en esta área no es tanto el conocimiento de fuentes técnicas, cosa que no vendría al caso, como el dominio de los juicios conceptuales necesarios para el análisis de la ciencia como fuerza social. Algunos de esos juicios se generarían por sí mismos si el historiador socioeconómico tuviera un conocimiento mejor de la naturaleza de la ciencia como actividad y de sus cambios a través del tiempo. Interesado por el papel de las ciencias, requiere al menos un conocimiento global de cómo los hombres obtienen su membrecía en las comunidades científicas, de lo que hacen allí, de dónde vienen sus problemas y qué toman como soluciones. A este nivel, sus necesidades sobrepasan a las del historiador intelectual, aunque son, técnicamente hablando, mucho menos exigentes. Pero el historiador socioeconómico tiene también necesidades que no tiene el historiador intelectual: conocer la naturaleza de la tecnología como actividad; saber diferenciarla de la ciencia tanto social como intelectualmente; y, sobre todo, ser sensible a los varios modos de interacción entre ambas.

Cuando la ciencia afecta el desarrollo socioeconómico, es a través de la tecnología. A menudo los historiadores tienden a fundir las dos actividades, inducidos por prefacios en los que, desde el siglo XVII, se proclama la utilidad de la ciencia, a la que ilustran con las máquinas y los modos de producción existentes en una época determinada.[7] A este respecto, Bacon no sólo ha sido tomado en serio —como es lo debido—, sino también literalmente —como no se debe—. Las innova-

[7] En donde están mejor ilustradas las dificultades del historiador con la tecnología como ciencia aplicada es en las discusiones sobre la Revolución industrial. La actitud más antigua es la de T. S. Ashton, *The Industrial Revolution, 1760-1830* (Londres y Nueva York: Oxford University Press, 1948), p. 15: "La corriente del pensamiento científico inglés, que arranca de las enseñanzas de Francis Bacon y se incrementa con el genio de Boyle y el de Newton, fue uno de los principales tributarios de la revolución industrial." Roland Mousnier, en el *Progrès scientifique et technique au XVIII^e siècle* (París: Plon, 1958), adopta la posición opuesta en una forma de lo más extrema, argumentando la total independencia de los dos fenómenos. Corrigiendo la idea de que la Revolución industrial fue ciencia newtoniana aplicada, puede decirse que es mejor la versión de Mousnier, pero esta misma se desentiende de las importantes interacciones metodológicas e ideológicas de la ciencia del siglo XVIII con la técnica. Sobre estos puntos, véase más adelante, o bien el excelente bosquejo que hay en el capítulo "Science", en E. J. Hobsbawn, *The Age of Revolution, 1789-1848* (Cleveland: World Publishing Company, 1962).

ciones metodológicas del siglo XVII son vistas, por tanto, como la fuente de una ciencia útil y consolidada. Explícita o implícitamente, se dice que la ciencia ha venido influyendo cada vez más, desde entonces, en los aspectos socioeconómicos. Sucede, sin embargo, que a pesar de los tres siglos de exhortaciones de Bacon y sus sucesores, la tecnología floreció sin aportes especiales e importantes de las ciencias hasta hace casi cien años. La aparición de la ciencia como elemento motor de primera magnitud en el desarrollo socioeconómico no fue un fenómeno gradual, sino repentino, anunciado significativamente y por primera vez en la industria del teñido químico-orgánico, a partir de 1870; continuó con la industria eléctrica desde 1890; y se aceleró rápidamente desde 1920. Ver estos acontecimientos como las consecuencias resultantes de la Revolución científica, equivale a pasar por alto una de las transformaciones históricas, radicales y esenciales del mundo contemporáneo. Muchas de las discusiones comunes acerca de la política científica serían más fructíferas si la naturaleza de este cambio estuviera mejor entendida.

A dicho cambio volveré más adelante, pero primero debo bosquejar, aunque simplista y dogmáticamente, sus antecedentes. La ciencia y la tecnología fueron actividades distintas hasta antes de que Bacon anunciara su unión a principios del siglo XVII, y luego continuarían separadas por casi tres siglos más. Hasta fines del siglo XIX, las innovaciones tecnológicas importantes casi nunca provinieron de los hombres, las instituciones, o los grupos sociales que trabajaban para las ciencias. Aunque los científicos hicieron algunas incursiones en la tecnología, y pese a que sus voceros a menudo proclamaran éxitos, quienes verdaderamente contribuyeron al desarrollo tecnológico fueron predominantemente los maestros de oficios, los artesanos, los trabajadores y los ingeniosos inventores, este último grupo a menudo en agudo conflicto con sus contemporáneos científicos.[8] El desprecio por los inventores se puede encontrar repetidamente en la literatura

[8] R. P. Multhauf, "The Scientist and the 'Improver' of Technology", *Technology and Culture*, 1 (1959): 38-47; C. G. Gillispie, "The *Encyclopédie* and the Jacobin Philosophy of Science", en M. Clagett, compilador, *Critical Problems in the History of Science* (Madison: University of Wisconsin Press, 1959), pp. 255-289. Para indicios sobre una explicación de la dicotomía, véanse mis "Comments", en R. R. Nelson, compilador, *The Rate and Direction of Inventive Activity*, informe de la Oficina Nacional de Investigación Económica (Princeton: Princeton University Press, 1962, pp. 379-384, 450-457, y el epílogo de mi artículo: "The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research" [capítulo IX de este libro], en C. W. Taylor y Frank Barron, compiladores, *Scientific Creativity: Its Recognition and Development* (Nueva York: Wiley, 1963), p. 341-354.-

científica, y la hostilidad para con los científicos pretensiosos, abstractos y distraídos es un tema recurrente en la literatura de la tecnología. Incluso hay pruebas de que esta polarización entre la ciencia y la tecnología tiene hondas raíces sociológicas, la historia no nos habla de ninguna sociedad que haya logrado arreglárselas para fomentar ambas al mismo tiempo.

Grecia, cuando hubo de valorar su ciencia, vio a la tecnología como herencia completa de sus dioses antiguos; Roma, famosa por su tecnología, no produjo una ciencia notable. La serie de innovaciones tecnológicas de finales del medioevo y del Renacimiento, que posibilitaron la parición de la cultura europea moderna, habían terminado mucho antes de que la Revolución científica comenzara. Aunque Inglaterra produjo una serie importante de innovadores aislados, estaba atrasada, cuando menos en las ciencias abstractas desarrolladas durante el siglo que cubre la Revolución industrial, mientras que Francia, con una tecnología de segunda clase, era el poder científico preponderante. Con las posibles excepciones (aún es demasiado pronto para asegurarlo) de los Estados Unidos y la Unión Soviética —desde cerca de 1930—, Alemania ha sido el único país que, durante el siglo que precedió a la segunda Guerra Mundial, ha mantenido simultáneamente tradiciones de primera categoría tanto en las ciencias como en la tecnología. La separación institucional —las universidades para *Wissenschaft*, y las *Technische Hochschulen* para la industria y las artes— es una posible causa de ese singular éxito. Para comenzar, el historiador del desarrollo socioeconómico haría bien en tratar a la ciencia y a la tecnología como empresas radicalmente distintas, igual que cuando habla de ciencias y artes. Que las tecnologías desde el Renacimiento hasta finales del siglo XIX hayan sido clasificadas generalmente como artes no es un accidente.

Desde esta perspectiva, puede uno preguntarse, como el historiador socioeconómico debería hacerlo también, cuáles son las interacciones entre las dos actividades, vistas ya distintas una de otra. Tales interacciones han sido, característicamente, de tres clases: una que viene desde la antigüedad; la segunda, de mediados del siglo XVIII; y la tercera, de fines del XIX. La más duradera, hoy probablemente determinada excepto en las ciencias sociales, es la del efecto de las tecnologías preexistentes, cualquiera que sea su fuente, sobre las ciencias. La estática antigua, las nuevas ciencias del siglo XVII como el magnetismo y la química, y el desarrollo de la termodinámica en el siglo XIX son algunos ejemplos. En cada uno de estos casos y de

muchos otros, avances verdaderamente importantes en el entendimiento de la naturaleza ocasionaron que los científicos decidieran estudiar lo que los artesanos habían aprendido a hacer. Existen otras causas importantes de las novedades que se dan en las ciencias, pero ésta ha sido muy a menudo menospreciada, excepto, tal vez por los marxistas.

En todos estos casos, sin embargo, los beneficios obtenidos han sido para la ciencia, no para la tecnología, punto que a menudo no advierten los historiadores marxistas. Cuando Kepler estudió las dimensiones óptimas de los toneles de vino, las proporciones que admitirían un contenido máximo con la menor cantidad de madera, ayudó a inventar el cálculo diferencial; pero, como descubrió, los toneles de vino existentes ya estaban construidos con las dimensiones que dedujo. Cuando Sadi Carnot se puso a la tarea de producir la teoría de la máquina de vapor, uno de los primeros motores, para cuya construcción, subrayó él, la ciencia había contribuido poco o nada, el resultado fue un paso importante hacia la termodinámica; sus prescripciones para mejorar la máquina, sin embargo, ya las habían puesto en práctica los ingenieros antes de que aquél comenzara sus estudios.[9] Con pocas excepciones, ninguna de importancia, los científicos que se volvieron hacia la tecnología únicamente lograron validar y explicar las técnicas ya establecidas sin ayuda de la ciencia; lo que no lograron fue mejorarlas.

Una segunda vía de interacción, visible desde mediados del siglo XVIII, fue, en las artes prácticas, el empleo creciente de métodos tomados de las ciencias y algunas veces hasta de los científicos mismos.[10] La eficacia de tal movimiento se desconoce todavía. No tuvo, por ejemplo, ningún papel apreciable en el desarrollo de la nueva maquinaria textil y en las técnicas de fundición del hierro, tan importantes para la Revolución industrial. Pero las "granjas experimentales" del siglo XVIII en Inglaterra, los libros de registro de los criadores de ganado, y los experimentos acerca del vapor que realizó Watt para construir su condensador separado son todos ellos acontecimientos

[9] W. C. Unwin, "The Development of the Experimental Study of Heat Engines", *The Electrician*, 35 (1895): 46-50, 77-80, es una sorprendente relación de las dificultades encontradas al tratar de aplicar la teoría de Carnot y sus sucesores al proyecto de ingeniería.

[10] C. C. Gillispie, "The Natural History of Industry", *Isis*, 48 (1957): 398-407; R.E. Schofield, "The Industrial Orientation of the Lunar Society of Birmingham", *Isis*, 48 (1957): 408-415. Nótese la medida en que ambos autores, aunque discrepan vehementemente, se encuentran sin embargo defendiendo la misma tesis con diferentes palabras.

vistos, plausiblemente, como intentos conscientes por utilizar los métodos científicos en las artes y los oficios; y tales métodos resultaron productivos en ocasiones. Fueron pocos los hombres que los utilizaron; con todo, dieron su aporte a la ciencia contemporánea, que, de todas modos, pocos de ellos conocían. Cuando tuvieron éxito no fue por la aplicación de la ciencia existente, sino por el ataque frontal, metodológicamente refinado, de una necesidad social reconocida.

Sólo en la química es donde la situación es más ambigua.[11] Fue principalmente en Francia en donde químicos distinguidos, como Lavoisier y C. L. Berthollet, fueron empleados para supervisar y mejorar las industrias del teñido, la cerámica y la pólvora. Sus prescripciones, más adelante, tuvieron un éxito evidente. Pero los cambios que introdujeron no fueron ni muy importantes ni, tangiblemente, debidos a la teoría o a los descubrimientos de la química de su época. La nueva química de Lavoisier, un ejemplo a mano, nos dio, sin lugar a dudas, un mejor y más profundo entendimiento de la tecnología preexistente para la reducción del mineral, la elaboración de ácidos, y otras más. Por otra parte, dio cabida al mejoramiento gradual de las técnicas de control de calidad. Pero no produjo cambios fundamentales en estas industrias ya establecidas, ni tuvo una participación notable, durante el siglo XIX, en las nuevas tecnologías de la sosa, o del hierro forjado y el acero. Si se buscan los procesos nuevos y de importancia, resultantes del desarrollo del conocimiento científico, habrá que esperar a que maduren la química orgánica, la electricidad y la termodinámica durante las generaciones de 1840 a 1870.

Los productos y los procesos resultantes de la investigación científica anterior, y que para su desarrollo dependen de investigaciones ulteriores realizadas por hombres con formación científica, muestran un tercer modo de interacción entre la ciencia y la tecnología.[12] Desde su aparición, hace un siglo, en la industria de los tintes orgánicos, ha transformado la comunicación, la generación y distribución del poder (dos veces), los materiales tanto de la industria como de la vida diaria, y también la medicina y la tecnología bélica. Hoy en día, su omnipresencia e importancia ocultan la brecha real, todavía existente, entre la

[11] H. Guerlac, "Some French Antecedents of the Chemical Revolution", *Chymia*, 5 (1968): 73-112; Archibald Clow y N. L. Clow, *The Chemical Revolution* (Londres: Batchworth Press, 1952); y L. F. Haber, *The Chemical Industry during the Nineteenth Century* (Oxford: Clarendon Press, 1958).

[12] John Beer, *The Emergence of the German Dye Industry*, Illinois Studies in the Social Sciences, vol. 44 (Urbana: University of Illinois Press, 1959); H. C. Passer, *The Electrical Manufacturers 1875-1900* (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1953).

ciencia y la tecnología. Por estar en plena manifestación este proceso, es difícil darse cuenta de lo reciente y decisiva que ha sido la aparición de esta forma de interacción. Aun los historiadores socioeconómicos rara vez parecen darse cuenta de las diferencias cualitativas entre las fuerzas que promovieron el cambio en la Revolución industrial y las que se hallan activas en el siglo XX. Más todavía, la mayoría de los libros de historia general enmascaran la existencia de tal transformación. Y uno no necesita inflar la importancia de la historia de la ciencia para imaginar que, desde 1870, la ciencia ha asumido un papel que ningún estudioso del desarrollo socioeconómico moderno puede pasar por alto, si es que se precisa de responsable.

¿Cuáles son las causas de la transformación y de qué manera puede contribuir el historiador socioeconómico para que sean entendidas? Opino que son dos, de las cuales él puede reconocer la primera y ayudar a desembrollar la segunda. Ninguna ciencia, por muy desarrollada que esté, necesita tener aplicaciones que afecten significativamente la tecnología en uso. Las ciencias clásicas, como la mecánica, la astronomía y las matemáticas sufrieron pocas transformaciones aun después de la conmoción ocurrida durante la Revolución científica. Las ciencias transformadas fueron las originadas durante el movimiento baconiano del siglo XVII, principalmente la química y la electricidad. Pero incluso éstas no alcanzaron los niveles de desarrollo que se requerían para producir aplicaciones importantes hasta mediados del último tercio del siglo XIX. Antes de que estos campos maduraran, a mediados de tal siglo, pocas eran las cosas de importancia socioeconómica significativa que pudieran haber sido producidas por cualquiera de los distintos campos científicos. No obstante que pocos historiadores socioeconómicos cuentan con las herramientas para seguir los aspectos técnicos de los avances que repentinamente hacen que una ciencia comience a producir materiales nuevos e inventos, es seguro que tengan conciencia de esos avances así como del singular papel que desempeñan.

El desarrollo técnico interno no fue, con todo, el único requisito para la aparición de una ciencia con significación social, y acerca de lo que falta el historiador socioeconómico podría tener muchas cosas importantes que decir. Durante el siglo XIX, la estructura institucional y social de las ciencias se transforma de maneras no anunciadas por la Revolución científica. Empezando en 1780 y continuando a través de la primera mitad del siglo siguiente, las entonces recién formadas sociedades de especialistas en las distintas ramas de la ciencia toma-

ron la primacía que las sociedades nacionales, que abarcaban toda la ciencia, no habían logrado asumir plenamente. Al mismo tiempo, proliferaron las revistas científicas privadas, en especial las referentes a disciplinas específicas, y poco a poco fueron remplazando a las publicaciones de las academias nacionales, anteriormente el medio casi exclusivo de comunicación entre científicos. Un cambio similar se aprecia en la educación científica y en el lugar que se le da a la investigación. A excepción de la medicina y de algunas escuelas militares, la educación científica apenas existió antes de la fundación de la *École polytechnique* en la última década del siglo XVIII. Instituciones por el estilo se propagaron rápidamente, primero en Alemania, después en los Estados Unidos y, finalmente, en Inglaterra, aunque aquí más imprecisamente. Con ellas, se desarrollaron a la vez otras formas institucionales nuevas, especialmente la enseñanza y la investigación de laboratorio, como el de Justus von Liebig en Giessen o el Colegio Real de Química de Londres. Éstos son los acontecimientos que primero hicieron posible y después mantuvieron lo que anteriormente apenas si había existido: la carrera científica profesional. Como viveros de ciencias potencialmente aplicables, aparecieron con relativa rapidez y de improviso. Junto con la maduración de las ciencias baconianas, esas formas institucionales nuevas son el fundamento de una segunda revolución científica que puede ubicarse en la primera mitad del siglo XIX, y es un acontecimiento histórico de por lo menos tanta importancia para el entendimiento de los tiempos modernos como la primera. Ya es hora de que se le incluya en los libros de historia, pero es una parte muy importante de otros procesos del siglo XIX, como para que sea tarea exclusiva de los historiadores de la ciencia.

He descrito hasta aquí el descuido de los historiadores hacia la ciencia y su historia, subrayando mientras tanto que la culpa es exclusivamente de los historiadores, aunque algo de ésta pudiera asignársele a los especialistas que han escogido a la ciencia como objeto de estudio. Hoy en día, por razones de las que hablaré más adelante, el deslinde de responsabilidades me parece cada vez más justificado, aunque a final de cuentas resulte injusto. Pero la situación actual es en parte producto del pasado. Si se va a analizar a fondo la brecha abierta entre la historia y la historia de la ciencia con el fin de tender un puente entre ellas, habrá que empezar por reconocer la contribución al separatismo hecha por la historia de la historia de la ciencia.

Hasta los primeros años de este siglo, la historia de la ciencia, o lo poco que había de ella, estaba dominada por dos tradiciones principalmente.[13] Dentro de una de ellas, que puede seguirse casi ininterrumpidamente desde Condorcet y Comte a Dampier y Sarton, se veía el avance científico como el triunfo de la razón sobre la superstición primitiva, el único ejemplo de la humanidad que actúa en su plano más elevado. Aunque de una erudición enorme, parcialmente útil todavía, las crónicas que esta tradición produjo fueron, en última instancia, de carácter exhortatorio, con —cosa notable— muy poca información sobre el contenido de la ciencia, abundando, en cambio, en autores y fechas de descubrimientos. Salvo como referencia ocasional o para preparar artículos historiográficos, ningún historiador contemporáneo de la ciencia las lee, hecho que no parece haber sido apreciado aún en toda su extensión —como debiera serlo— por la totalidad de la profesión histórica. Aunque sé que ofenderá a algunas personas, cuyos sentimientos respeto, no veo otra salida que la de subrayar el punto. Los historiadores de la ciencia tenemos para con el fallecido George Sarton una deuda inmensa por el papel que desempeñó en el establecimiento de nuestra profesión, pero la imagen de la especialidad que él propagó continúa haciendo mucho daño, a pesar de que ya fue desechada hace tiempo.

La segunda tradición, más dañina tanto por sus efectos como porque aún muestra cierta vitalidad, particularmente en la Europa continental, se origina con los científicos practicantes, a veces eminentes, quienes de tiempo en tiempo elaboran historias de sus respectivas especialidades. Sus trabajos suelen ser resultado secundario de la pedagogía científica y están dirigidos predominantemente a los estudiantes de ciencias. Además del atractivo intrínseco, vieron en tales historias el medio de dilucidar el contenido de su especialidad, de establecer su tradición y de atraer estudiantes. Sus obras fueron, y son todavía, bastante técnicas y las mejores de ellas siguen siendo útiles para los especialistas con diferentes inclinaciones historiográficas. Pero vista como historia, al menos desde las perspectivas actuales, esta tradición tiene dos grandes limitaciones. Salvo en ocasionales digresiones ingenuas, produjo exclusivamente historias internas que no toman en cuenta ni el contexto ni los efectos externos de la evolución de los conceptos y de las técnicas que tratan. Esta limitación no es en sí un defecto, porque las ciencias maduras por lo regular están más

[13] Varios de los siguientes puntos están desarrollados con más amplitud en mi "History of Science", *International Encyclopedia of the Social Sciences* (Nueva York, 1968), 14:74-83.

aisladas del clima exterior —al menos del de las ideas— que los demás campos creativos. Pero fue, indudablemente, una tradición exagerada y, de cualquier manera, trabajar dentro de esta modalidad perdió atractivo para los historiadores, excepto, tal vez, para los historiadores de las ideas. Sin embargo, aun los más puros historiadores de las ideas fueron rechazados y en ocasiones confundidos por otro defecto, más pronunciado, de esta tradición. Los científicos historiadores, así como sus seguidores, se caracterizaron por imponerle al pasado las categorías, los conceptos y los modelos científicos contemporáneos. A veces, una especialidad que ellos reconstruían desde la antigüedad, apenas había sido reconocida como disciplina autónoma una generación atrás. Aun conociendo el campo propio de esa disciplina restauraron su contenido actual con textos antiguos tomados de campos heterogéneos, sin darse cuenta de que la tradición así reconstruida nunca había existido. Además, generalmente los conceptos y las teorías del pasado eran tratados como aproximaciones imperfectas de las que estaban en uso, ocultando tanto la estructura como la integridad de las tradiciones científicas anteriores. Inevitablemente, las historias escritas de esa manera reforzaron la impresión de que la historia de la ciencia es una crónica, no muy interesante, del triunfo del método ortodoxo sobre el error descuidado y la superstición. Si ésos fueran los únicos modelos accesibles, solamente se podría criticar a los historiadores por la facilidad con que se engañan.

Pero éstos no son ni los únicos ejemplares modelos ni tampoco los predominantes durante los últimos treinta años. Éstos provienen de una tradición más reciente que fue adaptando a la ciencia un enfoque creado en las historias de la filosofía producidas a fines del siglo XIX. En esa área, claro, sólo los más adeptos podían sentirse seguros de su habilidad para distinguir el conocimiento verdadero del error y la superstición. Como resultado, los historiadores rara vez podían escapar de la fuerza de un precepto, más tarde enunciado concisamente por Bertrand Russell: "Al estudiar a un filósofo, la actitud correcta no es ni de veneración ni de menosprecio, sino, en primera instancia, una especie de simpatía hipotética, hasta que sea posible saber qué se siente al creer en sus teorías." [14] En la historia de las ideas, la tradición resultante es la que produjeron Ernst Cassirer y Arthur Lovejoy, cuyos trabajos, a pesar de sus profundas limitaciones, han tenido una influencia enorme y fructífera en la manera de tratar ideas en la historia.

[14] Bertrand Russell, *A History of Western Philosophy* (Nueva York: Simon & Schuster, 1945), p. 39.

Lo sorprendente y que falta ser explicado es la ausencia de alguna influencia comparable, siquiera en los historiadores intelectuales, de los trabajos de los hombres que, siguiendo a Alexandre Koyré, han estado desarrollando, durante una generación, los mismos modelos para las ciencias. La ciencia, vista a través de sus escritos, no es la misma actividad que la representada en cualquiera de las tradiciones antiguas. Por primera vez, se ha convertido, como posibilidad, en una empresa totalmente histórica, como la música, la literatura, la filosofía o el derecho.

Digo "como posibilidad" porque ese modelo tiene también sus limitaciones. Aunque se ha ampliado el tema propio del historiador de la ciencia a todo el contexto de las ideas, continúa siendo historia interna, ya que le pone poca o ninguna atención al contexto institucional o socioeconómico dentro del cual se han desarrollado las ciencias. La historiografía reciente, por ejemplo, ha hecho que se pierda la confianza en el mito del método, pero luego ha tenido dificultad en encontrarle un papel significante dentro del movimiento baconiano, y prácticamente ha hecho a un lado tanto la tesis Merton como la relación entre la ciencia y la tecnología, la industria, o las artesanías.[15] Es tiempo de confesar que algunas de las lecciones objetivas que he leído a los historiadores citados podrían circular también, y provechosamente, en mi propio campo. Pero las áreas a las que se aplican estas lecciones objetivas son los intersticios entre la historia de la ciencia y los intereses, hoy comunes, del historiador cultural y socioeconómico. Es necesario que los trabajen ambos grupos. Ya está dado un modelo del desarrollo interno de la ciencia, el cual nos da puntos de entrada, y los historiadores de la ciencia se están volcando hacia él, movimiento que analizaré en las conclusiones. No tengo conocimiento de que haya otro movimiento de tal magnitud dentro de la profesión histórica.

Es evidente que los historiadores de la ciencia deben compartir la culpa. Pero ninguna lista de sus pecados pasados y presentes explicará la realidad de la relación actual con el resto de la profesión histórica. La aceptación general que han merecido sus trabajos se debe principalmente al libro de Butterfield, publicado hace casi treinta años, cuando la disciplina se encontraba en embrión, y que nunca fue asimilado por completo. El desdén de los historiadores científicos por su propia materia, que es la ciencia, se agudizó espe-

[15] T. S. Kuhn, "Alexandre Koyré and the History of Science", *Encounter*, 34 (1970): 67-70.

cialmente durante los años en que ésta se convirtió en una fuerza histórica de primera importancia. Aunque comúnmente asignada a los departamentos de historia, los historiadores llevan sus cursos y sólo en ocasiones leen los textos sobre ella. Solamente puedo especular acerca de las causas de esa situación y parte de esa especulación trata de temas que conozco solamente por conversaciones con colegas y amigos. Sin embargo, aprovecho la ocasión que me da este libro como excusa para especular.

Dos clases de explicaciones son obvias, de las cuales, la primera surge de lo que quizá sea, entre las disciplinas aprendidas, un factor único para la historia. La historia de la ciencia no es, en principio, una especialidad más reducida que, digamos, la política, la diplomacia, la historia social o la intelectual; tampoco sus métodos son radicalmente diferentes de los utilizados en esos campos. Pero es una especialidad de tipo diferente, porque se interesa en primera instancia por la actividad de un grupo específico —los científicos—, y no por un conjunto de fenómenos que, para comenzar, deban ser abstraídos de la totalidad de las actividades dentro de una comunidad definida geográficamente. Desde este punto de vista, su vínculo natural es con la historia de la literatura, de la filosofía, de la música, y de las artes plásticas.[16] Sin embargo, estas especialidades no se imparten en los departamentos de historia. En vez de eso, son más o menos partes integrales del programa del departamento dedicado a la disciplina cuya historia se va a estudiar. Tal vez los historiadores reaccionan a la historia de la ciencia del mismo modo que a la historia de otras disciplinas. Es probable que la tensión que se siente dentro del mismo

[16] M. I. Finley señala que la historia de la ley resultaría ser de un paralelismo más revelador todavía. La ley, a fin de cuentas, no es más que otra de las clases de acontecimientos que los historiadores han estudiado tradicionalmente. Pero, salvo por la referencia a la expresión de la voluntad de la sociedad mediante la legislación, los historiadores rara vez atienden a su evolución como institución. En la conferencia, las reacciones a la insistencia de Peter Paret de que la historia militar debe ser, en parte, la historia del establecimiento militar como institución cuya vida es en parte la suya propia sugiere lo profundamente arraigada que está la resistencia a la historia disciplinaria. Por ejemplo, los participantes sugirieron que la historia militar debiera ser el estudio de los orígenes sociales de la guerra y de los efectos de ésta sobre la sociedad. Pero estos temas, aunque tal vez reflejen las razones principales para desear que se haga la historia militar, no deben ser su foco primordial. La comprensión de las guerras, su desarrollo y consecuencias dependen esencialmente de comprender los establecimientos militares. En todo caso, el tema guerra y-sociedad es tanto la responsabilidad del historiador general como de su colega especializado en la historia militar. Es muy estrecho el paralelismo con la historia de la ciencia.

departamento sea debida únicamente a la proximidad entre los dos tipos de especialistas. Esa sugerencia se la debo a Carl Schorske, uno de los dos historiadores con quienes mis estudiantes y yo hemos trabajado conjuntamente, más de cerca y fructíferamente, desde que empecé a enseñar en un departamento de historia hace catorce años. Él me ha persuadido —aunque fue cuando este ensayo se encontraba ya bastante avanzado— de que muchos de los problemas examinados bajo el rubro de la ciencia-en-la-historia-intelectual tienen paralelos precisos en las discusiones típicas de los historiadores de las demás profesiones intelectuales, literarias y artísticas. Los historiadores son, según él, adeptos a extraer de las novelas, pinturas o disertaciones filosóficas los temas que reflejan problemas sociales y valores contemporáneos. Lo que comúnmente no advierten, a veces porque los disculpan racionalizándolos, son los aspectos de los artefactos determinados internamente, en parte debido a la naturaleza intrínseca de la disciplina que los produce y en parte por el papel especial que el pasado de esa disciplina desempeña en su evolución actual. Los artistas, ya sea por imitación o por rebeldía, construyen partiendo de un arte del pasado. Al igual que los científicos, los filósofos, escritores y músicos, viven y trabajan dentro de toda una cultura y dentro de una tradición disciplinaria propia y casi independiente. Ambos medios determinan su producción creativa; pero el historiador, por regla general, sólo le da importancia al primero.

A excepción de mi propio campo, mi capacidad para evaluar estas generalizaciones se reduce a la historia de la filosofía. Allí, sin embargo, encajan con la misma precisión que en la historia de la ciencia. Como son, además, extremadamente plausibles, voy a aceptarlas tentativamente. Lo que los historiadores ven comúnmente como histórico en el desarrollo de cada una de las disciplinas creativas son aquellos aspectos que reflejan su estar inmersas dentro de una sociedad. Lo que muy a menudo rechazan, como algo no realmente histórico, son aquellos aspectos internos que le dan a la disciplina una historia con sentido propio.

La concepción que permite ese rechazo me parece profundamente ahistórica. El historiador no la aplica en otros dominios. ¿Por qué aquí sí? Consideremos, por ejemplo, la manera como los historiadores tratan las subdivisiones geográficas y lingüísticas. Muy pocos de ellos negarían la existencia de problemas que pueden ser discutidos únicamente dentro del cuadro gigantesco de la historia universal. Pero no por eso niegan que el estudio del desarrollo de Europa o América sea

también histórico. Tampoco niegan el siguiente paso, que le encuentra un papel legítimo a las historias nacionales y aun de las provincias, con tal que sus autores sigan atendiendo a los aspectos de su materia restringida que están determinados por la influencia de los grupos que los rodean. Cuando, inevitablemente, los problemas de comunicación aparecen, por ejemplo, entre los historiadores ingleses y los de la Europa continental, todos se conduelen y se habla de tapaojos historiográficos que son, además, posibles fuentes de error. Los sentimientos que se generan se asemejan a los que los historiadores de la ciencia o el arte suelen encontrarse, pero nadie diría en *voz alta* que la historia de Francia es, por definición, histórica en algún sentido en el que la de Inglaterra no lo es. Aun así, ésa es muy a menudo la respuesta cuando las unidades analíticas cambian de subsistemas geográficamente definidos a grupos cuya cohesión —no necesariamente menos (o más) real que la de una comunidad nacional— proviene del estudio de una disciplina especial y una fidelidad a sus valores especiales. Quizá si los historiadores pudieran admitir la existencia de remiendos en el tejido de Clío, podrían aceptar con más facilidad que no hay rasgaduras.

La resistencia a las historias disciplinarias no es, por supuesto, una falla exclusiva de los historiadores que laboran dentro de los departamentos de historia. Con pocas excepciones notables, como Paul Kristeller y Erwin Panofski, los hombres que estudian el desarrollo de una disciplina desde dentro del departamento dedicado a esa misma se concentran excesivamente en la lógica interna del campo que estudian, muchas veces pasando por alto las consecuencias y las causas que tienen que ver con el contexto cultural. Recuerdo, con profunda vergüenza el día en que un estudiante tuvo ocasión de recordarme que el tratamiento relativista del átomo, de Arnold Sommerfeld, fue ideado a mediados de la primera Guerra Mundial. Las separaciones institucionales desalientan las sensibilidades históricas a ambos lados de la barrera que forman. Aquel que enseñe dentro del departamento dedicado a la disciplina que investiga se dirigirá casi siempre a los profesionales de esa disciplina o, en el caso de la literatura y las artes, a sus críticos. Comúnmente, la dimensión histórica de su trabajo está subordinada a la función pedagógica y al perfeccionamiento de la disciplina actual. La historia de la filosofía, como se enseña dentro del departamento de filosofía, es a veces una parodia de lo histórico. Al leer un trabajo del pasado, el filósofo acostumbra buscar la posición del autor sobre los problemas actuales, lo critica con la ayuda del aparato actual, e interpreta su texto de manera que concuerde lo más

que sea posible con la doctrina moderna. Durante el proceso, el original histórico muy a menudo llega a perderse. Me contaron, por ejemplo, de la respuesta que un ex colega de filosofía le dio a un estudiante que cuestionaba su lectura de un pasaje de Marx. "Sí", dijo, "las palabras parecen decir lo que tú sugieres. Pero eso no puede ser lo que Marx quería decir, porque es evidentemente falso." La causa de que hubiera escogido las palabras que escogió no era un problema en el que valiera la pena detenerse.

En su mayoría, los ejemplos de parcialidad que se pusieron en vigor al colocar a la historia al servicio de una disciplina "madre" son más sutiles, pero no menos ahistóricos. El daño que causan no es mas grande, creo, que el ocasionado por el rechazo de los historiadores de la historia disciplinaria, pero seguramente sí es de igual magnitud. Ya señalé que la historia de la ciencia mostró el síndrome ahistórico cuando fue enseñada en los departamentos de ciencias. Las fuerzas que han ido transfiriéndola a los departamentos de historia en años recientes la han colocado en el lugar al que pertenece. Aunque la boda fue a punta de escopeta, y la forzada pareja no acaba de emparejarse, puede que todavía, el día menos pensado, nazca un hijo. No dudo de que otras asociaciones obligatorias, por el estilo de ésta, con los profesionales de otras ramas del departamento de historia tengan igual probabilidad de dar fruto. Quizá, como mi primer jefe del departamento de historia, el difunto George Guttridge, dijo una vez, muy pronto reconoceremos lo mal que la historia se adecua a la organización departamental de las universidades estadunidenses. Son inaplazables algunos arreglos institucionales dentro y fuera del departamento; tal vez se esté gestando alguna facultad o escuela de estudios históricos que pueda reunir a todos los interesados, sin importar su afiliación departamental.

He estado considerando la sugerencia de que las relaciones entre la historia y la historia de la ciencia difieren únicamente en intensidad, pero no en calidad, de las relaciones entre la historia y el estudio del desarrollo de otras disciplinas. Los paralelos son, creo, claros, y nos hacen adelantar un poco hacia el entendimiento del problema que se me pidió exponer. Pero no son completos, y no lo explican todo. Al tratar la literatura, el arte, o la filosofía, los historiadores, según lo he sugerido, sí leen las fuentes, cosa que no hacen en las ciencias. La ignorancia del historiador, incluso de las más importantes etapas del desarrollo de la ciencia, no tiene paralelo en las otras disciplinas que maneja. Aunque sean ofrecidos por otros departamentos, los cursos de historia de la

literatura y de las artes tienen más posibilidades de atraer a los historiadores, que los cursos de historia de la ciencia. Sobre todo, no existe precedente en otras disciplinas, de la atención exclusiva del historiador por un periodo particular cuando discuten una ciencia. Los historiadores que consideran superficialmente el arte, la literatura o la filosofía tienden a hacer lo mismo cuando tratan tanto el siglo XIX como el Renacimiento. La ciencia, por otro lado, es un tema que se discute únicamente entre 1540 y 1700. Una razón, según sospecho, de que el historiador le conceda especial importancia al descubrimiento del método es que lo protege de la necesidad de vérselas con las ciencias después de ese periodo. Con el método de éstas a la mano, dejan de ser ahistóricas, singular visión que no tiene paralelo en la manera como el historiador concibe otras disciplinas.

Al observar estos fenómenos, así como algunas experiencias más personales que ilustraré en seguida, de mala gana concluyo que parte de lo que separa al historiador de sus colegas historiadores de la ciencia es lo que, además de la personalidad, separa a F.R. Leavis de C. P. Snow. Aunque comprendo a quienes creen que se le ha dado un nombre equivocado, el problema de la doble cultura es otra causa probable de las dificultades que hemos estado estudiando.

Mis bases para esta conjetura están, en su mayoría, apoyadas en impresiones, pero no completamente. Estudiemos el siguiente párrafo escrito por un psicólogo inglés cuyas pruebas le permiten predecir, con cierta seguridad, las futuras especializaciones de estudiantes de bachillerato, aunque (como las pruebas de inteligencia que incluye) nos da información muy escasa sobre los que serán buenos y los que serán malos estudiantes después de haber escogido su especialidad:

> El típico historiador o lingüista moderno tenía, relativamente, un cociente de inteligencia más bien bajo y una predisposición verbal de la mente. Tenía propensión a trabajar erráticamente en la prueba de la inteligencia; a veces eran meticulosos; a veces negligentes; y sus intereses tendían a ser culturales más que prácticos. El joven físico solía tener cociente de inteligencia elevado y ninguna predisposición a la habilidad verbal; por lo general, era recurrentemente exacto; sus intereses eran usualmente técnicos, mecánicos, o enfocados a la vida en el campo. Naturalmente, estas reglas empíricas no fueron perfectas: una minoría de especialistas en artes tuvo calificaciones iguales a las de los científicos, y viceversa. Pero, en general, las predicciones resultaron sorprendentemente acertadas y, en los casos extremos, infalibles.[17]

[17] Liam Hudson, *Contrary Imaginations: A Psychological Study of the English Schoolboy* (Londres: Methuen, 1966), p. 22.

Junto con otros testimonios de la misma fuente, este pasaje nos sugiere que los historiadores y los científicos, al menos los del tipo más matemático y abstracto, son tipos polares.[18] Otros estudios, aunque insuficientemente detallados para aislar a los historiadores, nos indican que los científicos, como grupo, provienen de un estrato socioeconómico inferior al de sus colegas académicos de otros campos.[19] Mis impresiones personales, tanto las de mi época de estudiante como las referentes a mis hijos, me sugieren que las diferencias intelectuales aparecen muy temprano especialmente en matemáticas, donde se evidencia por lo regular antes de los catorce años. Ante todo me refiero a las aptitudes, no a las habilidades ni a la creatividad. Aunque existen excepciones en ambos casos, y un amplio terreno en medio, creo que una pasión por la historia es rara vez compatible con un gusto, aunque sea poco desarrollado, por las matemáticas o la ciencia de laboratorio, y viceversa.

No es sorprendente que cuando se desarrollan estos tipos polares, y se manifiestan al optar por una carrera, a menudo se expresen en actitudes defensivas y de hostilidad. A los historiadores que lean este ensayo no hace falta mencionarles el desdén, franco y generalizado, de los científicos por los estudios históricos. A menos que se suponga que hay reciprocidad, no puede explicarse la posición, ya descrita, de los historiadores hacia las ciencias. Los historiadores de la ciencia deben ser excepciones, pero aun ellos sirven a menudo para comprobar la regla. En su mayoría, empiezan estudiando ciencias, y sólo después de graduados se vuelven hacia la historia de la ciencia. Los que así lo hacen insisten en que su interés se circunscribe a la historia de la ciencia, y no a la historia general, campo que consideran anodino y ajeno a ellos. Como resultado, es más fácil que los atraigan departamentos o programas especiales, que departamentos de historia general. Afortunadamente, existen muchas posibilidades de "convertirlos" una vez que llegan allí.

Pese a que muchos historiadores son hostiles a la ciencia —como

[18] En un análisis más completo, al que ya apunta el visionario libro de Hudson, se tendría que reconocer que la polarización posee dimensiones múltiples. Por ejemplo, la misma clase de científicos con más probabilidad de desdeñar la historia es la que frecuentemente se interesa de manera apasionada por el pensamiento musical, pero comúnmente no por las demás formas principales de la expresión artística. Hudson no se refiere a un espectro simple, que vaya del artista, en un extremo, al científico, en el otro, y con el historiador y el artista en un mismo extremo.

[19] C. C. Gillispie, "Remarks on Social Selection as a Factor in the Progressivism of Science", *American Scientist*, 56 (1968): 439-450, hace destacar el fenómeno y da bibliografía pertinente.

me supongo—, tiene que admitirse que lo encubren muy bien, mucho mejor, por ejemplo, que sus colegas de literatura, idiomas y las artes, quienes son a menudo por completo explícitos. Contrariamente a lo que podría esperarse, tal diferencia no constituye una contraprueba. Como los filósofos, y a diferencia de la mayoría de los estudiantes de literatura y arte, los historiadores ven su actividad como algo cognoscitivo y, por tanto, afín a la ciencia, si no como parte de ella. Comparten, con los científicos, valores como la imparcialidad, la objetividad y la fidelidad de la prueba. Han probado también el fruto prohibido del árbol de la ciencia, por lo que no pueden recurrir a la retórica anticientífica de las artes. Pero, como ya lo hice notar, existen formas sutiles de expresar esa hostilidad. Esta parte de mi argumentación concluirá, por tanto, con algunas pruebas de un género más personal.

La primera es un encuentro memorable con un amigo y colega muy estimado, quien de tiempo en tiempo ha organizado y dirigido un seminario experimental en Princeton, tendente a familiarizar a los estudiantes graduados de primer año con los métodos auxiliares y enfoques que el futuro especialista puede emplear algún día. Cuando lo consideraba propio, le pedía a un especialista local o visitante que dirigiese la discusión y se le consultaba acerca de la lectura preparatoria. Hace varios años, yo acepté dirigir al grupo en el primero de un par de encuentros sobre historia de la ciencia. El tema central de la lectura, seleccionado después de mucha discusión, fue un viejo libro mío, *The Copernican Revolution*. Quizá no haya sido la mejor decisión, pero hubo razones para tomarla, explícitas tanto en mis conversaciones con mi colega como en el prefacio. Aunque no es un texto, el libro fue escrito para emplearse en cursos universitarios de ciencias para estudiantes de humanidades.No presentaría, por tanto, obstáculos insuperables para nuestros estudiantes graduados. Más importante aún es que, cuando fue escrito, era el único libro que intentaba dar una imagen, en un solo volumen, de la magnitud de tal revolución, desde la astronomía y sus técnicas, hasta la historia de la actividad intelectual. Era así un ejemplo concreto de lo que he venido examinando aquí en términos más abstractos: que el papel de la ciencia en la historia intelectual no puede ser entendido sin conocimiento de la ciencia. No sé cuantos estudiantes entendieron el punto; lo que sí sé es que mi colega no lo entendió. A mitad de una discusión acalorada, exclamó: "Pero, por supuesto, yo omití las partes técnicas." Como es un hombre ocupado, la omisión puede no ser sorprendente. ¿Pero qué nos dice su deseo, no solicitado, de hacerlo público?

Mi segundo y más breve ejemplo es del dominio público. El *Portrait of Isaac Newton,* de Frank Manuel, ha sido seguramente el estudio más brillante y completo de ese personaje en mucho tiempo. Salvo los ofendidos por su punto de vista psicoanalítico, los expertos newtonianos con quienes lo he tratado me aseguran que influirá en sus trabajos futuros. La historia de la ciencia sería mucho más pobre si no se hubiese escrito ese libro. Sin embargo, en el contexto actual, da lugar a una pregunta fundamental: ¿existe otro campo, además de la ciencia, en el cual pueda uno imaginar la labor de un historiador que prepara una biografía de importancia y que omita, consciente y deliberadamente, toda intención de ocuparse del trabajo creativo que hizo de la vida de su protagonista un asunto digno de estudio? No puedo pensar en una obra de amor semejante y consagrada a una figura de importancia en las artes, la filosofía, la religión o la vida pública. En estas circunstancias, no estoy seguro de que el amor sea el sentimiento que haya de por medio.

Puse estos ejemplos pensando que ilustrarían la hostilidad hacia las ciencias. Habiéndolos presentado, confieso que "hostilidad" tal vez no sea el término más adecuado, pero son ejemplos de comportamiento extraño. Si lo que ilustran debe quedar por el momento vago, acaso constituya la barrera principal que separa a la historia de la historia de la ciencia.

Habiendo dicho hasta ahora más de lo que sé sobre la barrera interpuesta entre la historia y la historia de la ciencia, voy a concluir con algunas muestras de signos de cambio. Una de ellas es la proliferación de los historiadores de la ciencia y su localización cada vez mayor dentro de los departamentos de historia. Aunque tanto el número como la proximidad pueden ser, al principio, fuente de fricción, también aumentan la posibilidad de vía de comunicación. Al crecimiento se debe además otro acontecimiento alentador: la atención creciente que se le presta hoy a periodos posteriores a la Revolución científica y a partes de la ciencia apenas si exploradas antes. Lo mejor de la literatura secundaria ya no se restringirá a los siglos XVI y XVII, ni tampoco seguirá limitándose a las ciencias físicas. El creciente bolumen de estudios dedicados a la historia de las ciencias biológicas puede tener una importancia muy particular. Éstas han sido, hasta hace poco, mucho menos técnicas que las principales ciencias físicas, contemporáneas a ellas. Los estudios de su desarrollo serán corres-

pondientemente más accesibles al historiador que quiera saber de qué trata la historia de la ciencia.

Veamos ahora otros dos acontecimientos, cuyos efectos se observan actualmente entre muchos de los practicantes más jóvenes de la historia de la ciencia. Dirigidos por Frances Yates y Walter Pagel, están descubriendo cada vez más pruebas de que el hermetismo y movimientos afines desempeñaron papeles importantes en las primeras etapas de la Revolución científica.[20] La excitante y original literatura que resulta bien puede tener tres efectos que trasciendan su contenido explícito. Primero, por el simple hecho de que el hermetismo fue un movimiento declaradamente místico e irracional, el reconocimiento de su participación contribuirá a que la ciencia sea más paladeable para los historiadores que la rechazaban por considerarla una actividad casi mecánica, gobernada por la pura razón y los fríos hechos. (Sería completamente absurdo aislar y estudiar exclusivamente los elementos racionales del hermetismo como una generación más antigua lo hizo ya con el neoplatonismo.) Segundo, en la actualidad, el hermetismo parece haber afectado dos aspectos del desarrollo científico que antes se creían mutuamente excluyentes y que eran defendidos por escuelas rivales. Por un lado, fue un movimiento intelectual, casi metafísico, que cambió las concepciones del hombre acerca de los entes y de las causas fundamentales de los fenómenos naturales; como tal, es analizable con las técnicas comunes de los historiadores de las ideas. Pero también fue un movimiento que, en la figura del mago, prescribió nuevos objetivos y métodos para la ciencia. Los tratados de, por ejemplo, la magia natural nos muestran que la creciente importancia concedida al poder de la ciencia, al estudio de los oficios, a la manipulación mecánica y a las máquinas es en parte resultado del mismo movimiento que transformó el clima intelectual. Dos distintas maneras de enfocar la historia de la ciencia se unifican en una sola, que parece tener una atracción particular para el historiador. Por último, lo más reciente, y tal vez más importante, es que se ha empezado a estudiar el hermetismo como un movimiento de clases con una base social discernible.[21] Si prosigue esta tendencia, el

[20] F. A. Yates, "The Hermetic Tradition in Renaissance Science", en C. S. Singleton, compilador, *Art, Science and History in the Renaissance* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1967), pp. 255-274; Walter Pagel, *William Harvey's Biological Ideas* (Nueva York: Karger, 1967).

[21] P. M. Rattansi, "Paracelsus and the Puritan Revolution", *Ambix*, 11 (1963): 24-32, y "The Helmontian-Galenist Controversy in Restoration England", *Ambix*, 12 (1964): 1-23.

estudio de la Revolución científica se convertirá en una historia cultural multidimensional, del tipo que hoy muchos historiadores están esforzándose en crear.

Vayamos ahora al movimiento más reciente de todos, aparentemente en primer plano entre los estudiantes graduados y los miembros más jóvenes de la profesión. En parte, debido tal vez a su mayor contacto con los historiadores, unos y otros están virando cada vez más hacia el estudio de lo que a menudo se describe como historia externa. Subrayan cada vez más los efectos ejercidos sobre la ciencia no tanto por el medio intelectual como por el socioeconómico, y manifiestos en los cambiantes patrones de educación, institucionalización, comunicación y valores. Sus esfuerzos deben algo a las historias marxistas antiguas, pero sus intereses son de hecho más amplios, más profundos, y menos doctrinarios que los de sus predecesores. Porque los historiadores se encontrarán, con los estudios que resulten ahora, más dentro de su territorio, que con las antiguas historias; estarán particularmente deseosos de darle la bienvenida al cambio. En verdad, pueden aprender todavía de él algo que será de pertinencia general. Al igual que la literatura y las artes, la ciencia es el producto de un grupo, de una comunidad de científicos. Pero en las ciencias, especialmente en las últimas etapas de su desarrollo, las comunidades disciplinarias son más fáciles de aislar y también más autónomas que sus equivalentes en otros campos. Por eso las ciencias resultan ser un área particularmente promisoria para la exploración de las fuerzas que operan en un contexto social y conforman la evolución de una disciplina que, simultáneamente, se halla regida por sus propias exigencias internas.[22] Ese estudio, de tener éxito, nos daría un prototipo aplicable a toda una variedad de campos, aparte de las ciencias.

Todos estos acontecimientos son por fuerza alentadores para todos los que se encuentran afectados por la ruptura tradicional entre la historia y la historia de la ciencia. Si son llevados adelante, como parece que ocurrirá en menos de una década, a partir de hoy, la brecha será menos profunda de lo que ha sido en el pasado. Pero no parece que vaya a desaparecer, pues las nuevas tendencias, descritas aquí, pueden tener tan sólo efectos indirectos, parciales, o a largo plazo en lo que creo es la causa fundamental de la división. Tal vez el ejemplo de la

[22] En la penúltima sección del artículo citado en la nota 13, se desarrolla en términos teóricos esta posibilidad. Un ejemplo concreto es el de T. M. Brown, "The College of Physicians and the Acceptance of Iatromechanism in England, 1665-1695", *Bulletin of the History of Medicine*, 44 (1970) 12-30.

historia de la ciencia pueda por sí mismo minar la resistencia del historiador a la historia disciplinaria, pero tendría más confianza si supiera las razones que esa resistencia tuvo en el pasado. De cualquier modo, la historia de la ciencia es, en sí, un remedio poco eficaz para un mal social tan profundo y expandido como el problema de la doble cultura. Y en mis momentos de más depresión, temo que la historia de la ciencia pueda ser incluso víctima de ese problema. Aunque doy la bienvenida al giro hacia la historia externa de la ciencia, que viene a restablecer el equilibrio perdido durante mucho tiempo, su actual popularidad puede no ser una bendición pura. Una de las razones de su prosperidad presente consiste, indudablemente, en la propagación del virulento clima anticientífico que priva en estos tiempos. Si se convierte en el único enfoque, la historia de la ciencia podría quedar reducida a una versión, a un nivel más alto de la tradición que, por no ocuparse de la ciencia en sí, terminó omitiendo las cuestiones internas que configuran el desarrollo de cualquier disciplina. Ése sería un precio muy alto para la reconciliación; pero a menos que los historiadores puedan encontrar un lugar para la historia de las disciplinas científicas, será muy difícil de evitar.

SEGUNDA PARTE

ESTUDIOS METAHISTÓRICOS

VII. LA ESTRUCTURA HISTÓRICA DEL DESCUBRIMIENTO CIENTÍFICO*

EN ESTE artículo trataré de destacar y esclarecer una pequeña parte de lo que, según yo, en el estudio de la ciencia, es una revolución historiográfica permanente.[1] El tema que voy a tratar es el de la estructura del descubrimiento científico. Y lo mejor será que empiece señalando que el tema, de por sí, puede parecer por demás extraño. Tanto los científicos, como hasta hace poco los historiadores, han venido viendo en el descubrimiento una especie de suceso que, sin negar que requiere ciertas condiciones para darse y que de seguro posee consecuencias, carece de estructura interna. Lejos de ver en él un proceso complejo que se extiende en el tiempo y en el espacio, se ha considerado que el descubrir algo es un acontecimiento unitario que, como el mirar algo, le sucede a un individuo en un lugar y momento determinados.

Esta manera de concebir la naturaleza del descubrimiento tiene, según sospecho, profundas raíces en el carácter de la comunidad científica. Uno de los pocos elementos históricos que aparecen en los libros de texto en los cuales el futuro científico aprende su especialidad consiste en la atribución de fenómenos naturales particulares a los personajes históricos que supuestamente los descubrieron. A consecuencia de esto y también de otros aspectos de su formación, para muchos científicos el llegar a hacer un descubrimiento se convierte en uno de sus objetivos vitales. Hacer un descubrimiento es prácticamente acercarse a un derecho de propiedad que ofrece la carrera científica. El prestigio profesional suele estar íntimamente relacionado con tal tipo de logro.[2] No deben parecer extrañas, pues, las

* Reimpreso con autorización de *Science*, 136 (1962): 760-764. *Copyright* 1962, de The American Association for the Advancement of Science.

[1] La revolución mayor se analizará en mi próximo libro, *The Structure of Scientific Revolutions*, que publicará en el otoño la editora de la Universidad de Chicago. Las ideas predominantes en este artículo se extrajeron de su tercer capítulo: "La anomalía y el surgimiento de los descubrimientos científicos" [2ª ed., 1970]

[2] Para una brillante discusión de estos puntos, véase R. K. Merton, "Priorities in Scientific Discovery: A Chapter in the Sociology of Science", *American Sociological*

mordaces disputas que sobre la prioridad e independencia de los descubrimientos ocurren en la atmósfera normalmente plácida de la comunicación científica. Y sorprende menos todavía que muchos historiadores de la ciencia hallen en el descubrimiento individual la unidad a propósito para medir el progeso de la ciencia y empleen gran parte de su tiempo y capacidades en determinar quién y cuándo hizo tal o cual descubrimiento. Si el estudio del descubrimiento puede depararnos alguna sorpresa, ésta no puede ser más que eso, a pesar de la gran cantidad de ingenio y energía que en él se invierte, ni la polémica ni la más completa erudición sirven para fijar la fecha y el lugar exactos en los que pueda decirse que se ha "realizado" un descubrimiento.

Este fracaso, así de la discusión como de la investigación, sugiere la tesis que me propongo desarrollar. Muchos descubrimientos científicos, particularmente los de más interés e importancia, no son acontecimientos a los que se adecue la pregunta "¿dónde?" y, menos aún, "¿cuándo?" Aunque se dispusiera de todos los datos imaginables, tales preguntas, en términos generales, no tendrían respuesta. Que de todas maneras nos sintamos tentados a hacerlas una y otra vez denota lo incorrecto de la imagen que tenemos del descubrimiento científico. Tal impropiedad de la imagen es la parte medular del problema que voy a plantear, y que abordaré considerando primero el problema histórico de fechar y situar a un tipo principal de descubrimientos fundamentales.

Este tipo consta de aquellos descubrimientos —como el del oxígeno, la corriente eléctrica, los rayos X y el electrón— que no pudieron ser predichos partiendo de una teoría ya aceptada y que, por consiguiente, tomaron por sorpresa en un momento dado a los miembros de una especialidad establecida. Más adelante me concentraré en este tipo de descubrimientos; pero, para llegar a donde deseo, ayudará el hacer notar que hay otro tipo de descubrimiento en donde el problema enunciado prácticamente no existe. Dentro de esta segunda categoría se encuentran, por ejemplo, el descubrimiento del neutrino, las ondas de radio y los elementos que llenaron los espacios vacíos de la tabla periódica, cuya existencia estaba prevista por la teoría; así, sus descubridores sabían de antemano qué era lo que buscaban. Ese conocimiento anticipado no hizo su tarea menos exigente ni menos intere-

Review, 22 (1957): 635. Aunque no apareció hasta que este artículo ya estaba preparado, véase "The Competitive World of the Pure Scientist", *Science*, 134 (1961): 1957, que también viene al caso.

sante, pero sí les dio el criterio necesario para saber cuándo habían alcanzado su objetivo.[3] En consecuencia, pocos fueron los debates sobre la prioridad de esos descubrimientos, y sólo la escasez de datos puede impedir que el historiador los adjudique a una fecha y lugar particulares. Esos hechos ayudan a aislar las dificultades que nos encontramos al volver a los descubrimientos problema del primer tipo. En los casos que más nos interesan aquí, no hay señales que le informen al científico o al historiador cuándo se realizó el trabajo de descubrimiento.

Como ejemplo de este problema fundamental y sus consecuencias, trataré primero el descubrimiento del oxígeno. Por haber sido estudiado repetidas veces, a menudo con cuidado y destreza ejemplares, ese descubrimiento tiene pocas probabilidades de ofrecer sorpresas en cuanto a los hechos en sí. Por tanto, es un buen ejemplo para aclarar mis premisas.[4] Al menos tres científicos —Carl Scheele, Joseph Priestley y Antoine Lavoisier— tienen derechos legítimos sobre este descubrimiento; ocasionalmente, los polemizadores han exigido lo mismo para Pierre Bayen.[5] El trabajo de Scheele, aunque es casi

[3] No todos los descubrimientos corresponden tan nítidamente como el anterior a una u otra de mis dos clases. Por ejemplo, el trabajo de Anderson sobre el positrón fue realizado con desconocimiento absoluto de la teoría del electrón, de Dirac, a partir de la cual ya se había predicho con cierta aproximación la existencia de dicha partícula. Por otro lado, Blackett y Occhialini, en su trabajo realizado inmediatamente después del de Anderson, aplicaron la teoría de Dirac y por lo mismo aprovecharon casi íntegramente el experimento; por ello, su demostración de la existencia del positrón fue mucho mejor que la de Anderson. Sobre este tema, véase N. R. Hanson, "Discovering the Positron", *British Journal for the Philosophy of Science*, 12 (1961): 194; 12 (1962): 299. Hanson sugiere varios de los puntos expuestos aquí. Le estoy muy agradecido al profesor Hanson por haberme proporcionado una reimpresión de su material.

[4] Desarrollé un ejemplo menos familiar desde el mismo punto de vista en "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, 49 (1958): 132. Un análisis muy semejante del surgimiento de una teoría nueva se incluye en las primeras páginas de mi ensayo: "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery", en *Critical Problems in the History of Science*, compilador, M. Clagett (Madison: University of Wisconsin Press, 1959), pp. 321-356. La referencia a estos artículos puede añadirle profundidad y detalles a la discusión siguiente.

[5] La exposición clásica del descubrimiento del oxígeno es la de A. N. Meldrum, *The Eighteenth Century Revolution in Science: The First Phase* (Calcuta, 1930), cap. 5. Una exposición más conveniente y en general más confiable es la incluida en J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory: The Chemical Revolution of 1775-1789*. Harvard Case Histories in Experimental Science, case 2 (Cambridge: Harvard University Press, 1950). Una revisión reciente e indispensable, que incluye una relación de la controversia sobre

seguro que haya estado terminado antes de las investigaciones de Priestley y Lavoisier, no se publicó hasta que el trabajo de estos últimos ya era bastante conocido.[6] Por tanto, no desempeña ningún papel causal, y lo omitiré para simplificar mi historia.[7] Iniciaré, pues, el camino principal hacia el descubrimiento del oxígeno con el trabajo de Bayen, quien poco antes de marzo de 1774 descubrió que al calentar el precipitado rojo de mercurio (HgO) se producía el desprendimiento de un gas.

Ese producto gaseoso fue identificado por Bayen como aire fijado (CO_2), sustancia familiar para la mayoría de los dedicados a la química de los gases, por el trabajo anterior de Joseph Black.[8] Se sabía que muchas otras sustancias desprendían el mismo gas.

A principios de agosto de 1774, unos meses después de aparecido el trabajo de Bayen, Joseph Priestley repitió el experimento, aunque es probable que en forma independiente. Sin embargo, Priestley observó que el producto gaseoso permitía la combustión y, por tanto, lo identificó de otra manera. Para él, el gas obtenido al calentar el precipitado rojo era aire nitroso (N_2O), sustancia que ya había descubierto hacía más de dos años.[9] Más tarde, en el mismo mes, Priestley hizo un viaje a París y allí le comunicó a Lavoisier la nueva reacción. Éste repitió el

la prioridad, es la de M. Daumas, *Lavoisier, théoricien et expérimentateur* (París, 1955), caps. 2 y 3. H. Guerlac agrega muchos detalles importantes a nuestro conocimiento sobre las primeras relaciones entre Priestley y Lavoisier en su "Joseph Priestley's First Papers on Gases and Their Reception in France", *Journal of the History of Medicine*, 12 (1957): 1, y también en su monografía, muy reciente, *Lavoisier: The Crucial Year* (Ithaca: Cornell University Press, 1961). Sobre Scheele, véase J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2ª ed. (Londres, 1951), pp. 104-109.

[6] Sobre las fechas en el trabajo de Scheele, véase A. E. Nordenskjöld, *Carl Wilhelm Scheele, Nachgelassene Briefe und Aufzeichnungen* (Estocolmo, 1892).

[7] U. Bocklund ("A Lost Letter from Scheele to Lavoisier", *Lychnos*, 1957-1958, pp. 39-62) argumenta que Scheele le comunicó a Lavoisier su descubrimiento del oxígeno en una carta con fecha 30 de septiembre de 1774. Desde luego es importante la carta, y ello demuestra que Scheele iba adelante de Priestley y Lavoisier en la época en que la escribió. Pero no creo que la carta sea tan franca como supone Bocklund, y no imagino cómo pudo haber sacado de ella Lavoisier el descubrimiento del oxígeno. Scheele describe un procedimiento para constituir aire común, no para producir un gas nuevo, y ésta, como veremos más adelante, es casi la misma información que Lavoisier recibió de Priestley más o menos por la misma época. En todo caso, no hay pruebas de que Lavoisier realizara la clase de experimento sugerida por Scheele.

[8] P. Bayen, "Essai d'expériences chymiques, faites sur quelques précipités de mercure, dans la vue de découvrir leur nature, Seconde partie", *Observations sur la physique*, 3 (1774): 280-295, particularmente pp. 289-291.

[9] J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory*, pp. 34-40.

experimento en noviembre de 1774 y en febrero de 1775. Pero, debido a que sus comprobaciones eran algo más elaboradas que las de Priestley, tuvo que hacer una nueva identificación. Para él, en mayo de 1775, el gas desprendido por el precipitado rojo no era aire fijado ni aire nitroso, sino "aire [atmosférico] sin alteración. . . de tal modo que. . . resulta más puro".[10] Mientras tanto, Priestley había estado trabajando también, y antes de marzo de 1775 había llegado a la conclusión de que el gas debía de ser "aire común". Hasta aquí, todos los que habían producido un gas a partir del precipitado rojo de mercurio lo habían identificado con alguna especie ya conocida.[11]

El desenlace de esta historia del descubrimiento se puede contar en pocas palabras. En marzo de 1775, Priestley descubrió que su gas era en varios respectos mucho "mejor" que el aire común, y lo volvió a identificar, llamándolo ahora "aire desflogisticado", o sea, aire atmosférico sin su complemento normal de flogisto. Priestley publicó esta conclusión en las *Philosophical Transactions,* y al parecer fue por esa publicación que Lavoisier reexaminó sus resultados.[12] Comenzó su revisión en febrero de 1776 y en un año llegó a la conclusión de que el gas era en realidad un componente separable del aire atmosférico, al cual habían supuesto homogéneo tanto él como Priestley.

En este punto, reconocido ese gas como una especie nueva e irreductible, podemos dar por concluido el descubrimiento del oxígeno.

Pero, volviendo a mi pregunta inicial, ¿en qué momento puede decirse que fue descubierto el oxígeno? ¿Y qué criterio ha de seguirse para responder esa pregunta? Si el descubrimiento del oxígeno se reduce al simple hecho de tener una muestra impura en las manos, entonces el gas había sido "descubierto" en la antigüedad por el primer hombre que embotelló aire atmosférico. Sin lugar a dudas, siguiendo un criterio experimental, es necesario que se disponga por lo menos de una muestra relativamente pura, como la obtenida por

[10] *Ibid.*, p. 23. Una buena traducción del texto completo es la que aparece en Conant.

[11] Para simplificar, empleo en todo el texto el término *precipitado rojo*. En realidad, Bayen usó el precipitado; Priestley usó tanto el precipitado como el óxido producido directamente por calcinación de mercurio; y Lavoisier empleó exclusivamente este último. No carece de importancia la diferencia, pues para los químicos no fue absolutamente claro que ambas sustancias eran idénticas.

[12] Hay dudas sobre la influencia de Priestley en este aspecto del prensamiento de Lavoisier, pero, cuando éste volvió a experimentar con el gas en febrero de 1776, registró en sus notas que había obtenido l'air dephlogistique de M. Priestley (M. Daumas, *Lavoisier,* p. 36).

Priestley en agosto de 1774. Pero en ese año Priestley no sabía que había descubierto algo nuevo, sino tan sólo una nueva forma de producir una especie relativamente conocida. Durante todo ese año su "descubrimiento" apenas puede distinguirse del ya realizado por Bayen, y en ninguno de los dos casos es muy diferente del hecho por el reverendo Stephen Hales, quien había obtenido el mismo gas más de cuarenta años antes.[13] Es evidente que para que uno descubra algo debe estar enterado tanto del descubrimiento como de lo que ha descubierto.

Pero, siendo ése el caso, ¿qué tanto es lo que debe uno saber? ¿Sabía Priestley lo suficiente cuando identificó el gas como aire nitroso? O, si no, ¿sabían él o Lavoisier significativamente más cuando cambiaron la identificación por la de aire común? ¿Y qué podemos decir de la siguiente identificación de Priestley, la que hizo en marzo de 1775? El aire desflogisticado no es todavía oxígeno y, para el químico del flogisto, no es ni siquiera un tipo de gas desconocido. En lugar de eso, es aire atmosférico particularmente puro. Se tiene que esperar, pues, al trabajo de Lavoisier, de 1776 y 1777, el cual lo llevó no solamente a aislar el gas sino a determinar lo que era. Pero incluso esto último puede ser cuestionado. Porque en 1777, y hasta el final de su vida, Lavoisier insistió en que el oxígeno era un "principio de acidez" atómico y que el *gas* oxígeno se formaba solamente cuando ese "principio" se unía con el calórico, que es la materia del calor.[14] ¿Debemos decir, por tanto, que el oxígeno no había sido descubierto aún en 1777? Hay quien se siente tentado a decirlo. Pero el principio de acidez no fue desterrado de la química hasta después de 1810, y el calórico hasta la década de 1860. Sin embargo, el oxígeno era ya una sustancia química común y corriente mucho antes de esas fechas. Lo que es más, y tal vez sea la clave del asunto, es que probablemente habría ocurrido lo mismo sólo con el trabajo de Priestley, sin necesidad de la reinterpretación todavía parcial de Lavoisier.

Mi conclusión es que necesitamos un nuevo vocabulario y nuevos conceptos para analizar acontecimientos como el descubrimiento del oxígeno. Aunque indudablemente correcta, la frase "el oxígeno fue descubierto" es engañosa, pues sugiere que el descubrir algo es un

[13] J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, p. 91.

[14] Sobre los elementos tradicionales de las interpretaciones hechas por Lavoisier de las reacciones químicas, véase H. Metzger, *La philosophie de la matière chez Lavaoisier* (París, 1935), y Daumas, *Lavoisier*, cap. 7.

acto simple que, siempre y cuando se sepa de él lo suficiente, es posible atribuir a alguien y a una fecha determinada. Cuando el descubrimiento nó se esperaba, por otro lado, la atribución es siempre imposible y el acto, difícil de reconocer. Si pasamos por alto a Scheele, podemos decir, por ejemplo, sin meternos en mayor problema, que el oxígeno no había sido descubierto antes de 1774, y probablemente insistiríamos en que se descubrió en 1777, o poco después. Pero, dentro de estos límites, cualquier intento por fechar ese descubrimiento o por atribuírselo a alguna persona será inevitablemente arbitrario. Será arbitrario, además, por el simple hecho de que el descubrimiento de un nuevo tipo de fenómeno sigue un proceso complejo que incluye el reconocimiento de que se ha descubierto *algo* y de *qué* es ese algo. La observación y la conceptuación, así como el hecho y la asimilación del hecho a la teoría, se encuentran inseparablemente unidos en el descubrimiento de una novedad científica. Inevitablemente, ese proceso toma cierto tiempo, y en él suelen intervenir muchas personas. Únicamente para los descubrimientos de mi segunda categoría —la de aquellos cuyo carácter se conoce por anticipado— es que el descubrir *algo* y el descubrir *lo que es ese algo* ocurren simultáneamente en el mismo instante.

Expondré a continuación dos ejemplos mucho más simples y breves, que nos mostrarán al mismo tiempo lo típico del caso del oxígeno y también prepararán el terreno para llegar a una conclusión más o menos precisa. En la noche del 13 de marzo de 1781, el astrónomo William Herschel escribió lo siguiente en su diario: "En el cuartil cercano a Zeta Tauri. . . se encuentra una curiosa nebulosa, o tal vez un cometa."[15]

Se acostumbra tomar tales frases como la declaración del descubrimiento del planeta Urano, pero eso no es del todo cierto. Entre 1690 y la observación de Herschel en 1781, había sido visto el mismo objeto y registrado el hecho al menos 17 veces por hombres que pensaban que era una estrella. Herschel difiere de éstos únicamente por haber supuesto, gracias al mayor poder de amplificación de su telescopio, que en realidad podría tratarse de un *cometa*. Dos observaciones más, que hizo el 17 y el 19 de marzo, confirmaron su sospecha al encontrarse con que el objeto observado se movía entre las estrellas. Consecuentemente, les informó del descubrimiento a los astrónomos de toda Europa, y los matemáticos que había entre ellos empezaron a medir la

[15] P. Doig, *A Concise History of Astronomy* (Londres: Chapman, 1950), pp. 115-116.

órbita del nuevo cometa. Después de que, varios meses después, habían terminado en el fracaso todos los intentos por hacer concordar los cálculos con las observaciones, el astrónomo Lexell sugirió que el objeto observado por Herschel podría ser un planeta. Sólo después de nuevos cálculos, basados ahora en una órbita planetaria, que resultaron congruentes con las observaciones, tuvo aceptación general la sugerencia indicada. ¿En qué fecha de 1781 podemos decir que se descubrió el planeta Urano? ¿Y podemos estar completamente seguros de que fue Herschel y no Lexell quien lo descubrió?

Veamos ahora la historia, más breve todavía, del descubrimiento de los rayos X, que comienza un día de 1895 en que el físico Roentgen interrumpe su bien conocida investigación sobre los rayos catódicos porque nota que la pantalla de platinocianuro de bario, alejada de su aparato protegido, despide un brillo cuando se efectúa una descarga.[16] Investigaciones ulteriores —que requirieron siete agitadas semanas durante las cuales Roentgen rara vez dejó su laboratorio— indicaron que la causa del brillo viajaba en línea recta desde el tubo del rayo catódico, que la radiación emitía sombras, y que no podía ser desviada por la fuerza magnética ni por otras. Antes de anunciar su descubrimiento, Roentgen se había convencido a sí mismo de que su efecto no se debía a los rayos catódicos en sí, sino a un nuevo tipo de radiación con al menos similitudes con respecto a la luz. Una vez más aparece la inevitable pregunta: ¿en qué momento fueron descubiertos en realidad los rayos X? De ninguna manera podemos decir que fue en el primer instante, cuando todo lo que se había notado era un brillo en la pantalla. Por lo menos otro investigador había visto ya ese brillo y, muy a su pesar, no había descubierto nada. Tampoco podemos decir, y esto es bastante claro, que el momento del descubrimiento queda postergado hasta la última semana de investigación. Para entonces, Roentgen estaba investigando las propiedades de la nueva radiación que *ya* había descubierto. Lo más que podemos decir es que los rayos X aparecieron en Würzburg entre el 8 de noviembre y el 28 de diciembre de 1895.

Hay en estos ejemplos ciertas características, creo, que son comunes a todos los episodios en los cuales las novedades no previstas se convirtieron en temas de la atención científica. Concluyo, por lo tanto, estas breves observaciones analizando esas tres características comu-

[16] L. W. Taylor, *Physics, the Pioneer Science* (Boston: Houghton Mifflin Co., 1941), página 790.

nes que pueden servir de marco de referencia para ahondar en el estudio de los extensos episodios que acostumbramos llamar "descubrimientos".

En primer lugar, quiero hacer notar que nuestros tres descubrimientos —el del oxígeno, el de Urano y el de los rayos X— principiaron con el aislamiento experimental o en la observación de una anomalía, esto es, con la falla de la naturaleza para conformarse completamente a lo que se espera. A continuación, nótese que el proceso seguido para aislar esa anomalía muestra al mismo tiempo las características evidentemente incompatibles de lo inevitable y lo accidental. En el caso de los rayos X, el brillo anómalo que le dio a Roentgen la primera clave resultó claramente de la colocación accidental de su aparato. Pero, hacia 1895, los rayos catódicos eran un tema de investigación común en toda Europa; en esa investigación, se acostumbraba equipar los tubos de rayos catódicos con pantallas y películas sensibles; en consecuencia, el accidente de Roentgen pudo haber ocurrido en cualquier otro lugar, y de hecho así fue. Estos comentarios deben servir para que resalten las semejanzas del caso de Roentgen con respecto a los casos de Priestley y Herschel. Éste observó por primera vez su anómala y gigantesca estrella en el curso de un prolongado estudio de los cielos del norte. Ese estudio fue, salvo por la mayor amplificación que proporcionaban sus instrumentos, del mismo tipo que se habían venido realizando antes y que ya había producido observaciones de Urano. Y Priestley —cuando aisló el gas que se comportaba casi igual que el aire nitroso y después casi igual que el aire común— estaba viendo también algo que ni se había propuesto ni concordaba con el resultado de un tipo de experimento del que había muchos precedentes en Europa y que había conducido más de una vez a la producción del mismo gas.

Estas características sugieren la existencia de dos requisitos normales para el inicio de un episodio de descubrimiento. El primero —que durante todo este escrito, en gran medida, he dado por sentado— es la capacidad individual, el talento o el genio para reconocer que algo ha salido mal de una manera que puede tener consecuencias importantes. No todos los científicos habrían notado que una estrella desconocida pudiera ser tan grande, que una pantalla no debería haber brillado ni que el aire nitroso no debiera haber mantenido la vida. Pero ese requisito presupone otro, que es menos frecuente de dar por sentado. Cualquiera que sea el nivel del genio posible que las observe, las anomalías no se presentan en el curso normal de la investigación

científica mientras los instrumentos y los conceptos no se han desarrollado en grado suficiente como para hacer probable la aparición de una anomalía, y de manera que ésta resulte reconocible como una violación de las expectativas.[17] Decir que un descubrimiento inesperado empieza únicamente cuando algo sale mal es decir que comienza sólo cuando los científicos conocen bien tanto sus instrumentos como la forma en que la naturaleza debiera comportarse. Lo que distingue a Priestley, quien vio la anomalía, de Hales, quien no la vio, es en gran medida la considerable articulación de las técnicas de la química de los gases con las expectativas que se habían establecido durante las cuatro décadas que separan sus respectivas producciones del oxígeno.[18] El mismo número de personas que se adjudican el descubrimiento nos indica que, después de 1770, éste no hubiera tardado mucho tiempo.

El papel de la anomalía es la primera de las características compartidas por nuestros tres ejemplos. La segunda puede examinarse brevemente, pues constituye el tema principal de mi texto. La conciencia de la anomalía es apenas el comienzo de un descubrimiento, y nada más. Lo que sigue necesariamente, para que sea descubierto algo, es un espacio de tiempo, más o menos largo, durante el cual el individuo, y a menudo muchos miembros de su grupo, trata de reducir la anomalía a una ley. Invariablemente, ese periodo exige más obseraciones o más experimentos, así como profundas reflexiones. En tanto esto ocurre, los científicos revisan repetidas veces sus expectativas, las normas de sus instrumentos y ocasionalmente sus teorías fundamentales. Desde este punto de vista, los descubrimientos tienen una historia interna propia, lo mismo que una prehistoria y una poshistoria. Además, dentro del intervalo, difícil de precisar, de la historia interna, no existe un momento aislado o un día al que el historiador, por muy completo que sean sus datos, pueda identificar como el punto en que se ha realizado un descubrimiento.

A menudo, cuando intervienen varios individuos, es incluso imposible identificar inequívocamente a cualquiera de ellos como el descubridor.

[17] Aunque aquí no puedo argumentar sobre este punto, las condiciones que hacen probable el surgimiento de una anomalía y las que la hacen reconocible son en gran medida las mismas. Tal hecho puede ayudarnos a entender el porqué de tantos descubrimientos simultáneos como hay en las ciencias.

[18] Un bosquejo útil del desarrollo de la química de los gases se halla en Partington, *A Short History of Chemistry*, cap. 6.

Finalmente, veamos la tercera de estas tres características comunes, referente a lo que sucede cuando el periodo de un descubrimiento se acerca a su fin. Para un análisis completo de este tema, harían falta más pruebas y otro artículo, ya que aquí es muy poco lo que he dicho del final de un descubrimiento. Sin embargo, no hay por qué soslayar el tema, pues en parte es un corolario de lo ya expuesto.

Muy a menudo se describen los descubrimientos como las meras adiciones o incrementos al cúmulo creciente del conocimiento científico, y por ello parece que el descubrimiento individual es una medida precisa del descubrimiento científico. Sin embargo, sugiero que eso se aplica únicamente a descubrimientos que, como el de los elementos que llenaron los espacios vacíos de la tabla periódica, ya estaban previstos y, por lo mismo, no exigían ningún ajuste ni adaptación ni asimilación por parte de la profesión respectiva. Aunque el tipo de descubrimientos que hemos estudiado aquí es indudablemente de adiciones al conocimiento científico, también es algo más. En cierto sentido, que aquí sólo pude exponer en parte, tales descubrimientos influyen igualmente en los conocimientos establecidos, haciendo que sean contemplados desde una nueva perspectiva y, al mismo tiempo, cambiando la forma de trabajar algunas de las partes tradicionales de la ciencia. Quienes trabajan en aquellas áreas a las que pertenece el fenómeno nuevo suelen ver de manera diferente tanto el mundo como su trabajo cuando surgen de la larga batalla con la anomalía, lo cual constituye el descubrimiento de ese fenómeno.

William Herschel, por ejemplo, al aumentar en uno el número de planetas conocidos, les enseñó a los astrónomos a mirar cosas nuevas mientras escudriñan los cielos familiares, aunque sea con instrumentos menos perfeccionados que los de él. Ese cambio en la visión de los astrónomos debe ser la principal razón de que, en el medio siglo que siguió al descubrimiento de Urano, se agregaran veinte cuerpos circunsolares a los siete tradicionales.[19] La transformación, semejante a

[19] R. Wolf, *Geschichte der Astronomie* (Munich, 1877), pp. 513-515, 683-693. El descubrimiento de los asteroides, antes de la era de la fotografía, suele verse como resultado de la ley de Bode. Pero esa ley no puede ser toda la explicación y acaso ni siquiera haya representado un papel importante. El descubrimiento de Ceres, realizado por Piazzi en 1801, ocurrió sin que éste supiera nada de la especulación, corriente en aquel entonces, del planeta faltante en el "espacio vacío" entre Marte y Júpiter. Lejos de ello, Piazzi estaba realizando exploraciones estelares, como Herschel. Lo más importante es que la ley de Bode ya era antigua en 1800 (*ibid.*, p. 683), pero antes de esa fecha sólo a un hombre se le había ocurrido que valía la pena buscar otro planeta. Por último, la ley de Bode sólo podía sugerir la utilidad de buscar más planetas; pero no les decía a los

la anterior, que resulta del trabajo de Roentgen es aún más patente. En primer lugar, tuvieron que cambiarse las técnicas establecidas para la investigación de los rayos catódicos, debido a que los científicos encontraron que no podían controlar una de las variables pertinentes. Entre esos cambios estuvieron el perfeccionamiento de aparatos antiguos y formas nuevas de hacer preguntas viejas. Además, los científicos más interesados experimentaron la misma transformación de sus correspondientes perspectivas que acabamos de ver como consecuencia del descubrimiento de Urano. Los rayos X fueron el primer tipo de radiación nueva descubierto desde la infrarroja y la ultravioleta a principios de siglo. Pero menos de una década después del trabajo de Roentgen se descubrieron cuatro más gracias a la nueva sensibilidad científica (por ejemplo, las placas fotográficas veladas) y por algunas de las nuevas técnicas instrumentales que resultaron a partir del trabajo de Roentgen y de su asimilación.[20]

Muy a menudo estas transformaciones en las técnicas establecidas en la práctica científica tienen aún más importancia que el aumento de conocimiento que proviene del descubrimiento mismo. Tal es lo que podría argumentarse al menos en los casos de Urano y de los rayos X; en cuanto al tercer ejemplo, el del oxígeno, está categóricamente claro. Al igual que los trabajos de Herschel y de Roentgen, los de Priestley y Lavoisier les enseñaron a los científicos a mirar las situaciones antiguas desde nuevas perspectivas. Por tanto, como era de esperarse, el oxígeno no fue la única nueva especie química que se tuvo que identificar como consecuencia de la investigación. Pero, en el caso del oxígeno, los reajustes exigidos por la asimilación del nuevo conocimiento fueron tan profundos que desempeñaron un papel esencial e integral —aunque en sí no hayan sido la causa— en el cataclismo de la teoría y la práctica de la química, que desde entonces se conoce como la Revolución química. No sugiero que todos los descubrimientos imprevistos tengan consecuencias tan profundas y de tan largo alcance en la ciencia, como las que siguieron al descubrimiento del oxígeno. Pero sí sugiero que todos esos descubrimientos exigen, de

astrónomos en dónde buscarlos. Lo que sí está claro es que la motivación para buscar más planetas data del trabajo de Herschel sobre Urano.

[20] Sobre las radiaciones α, β y γ, cuyo descubrimiento data de 1896, véase Taylor, *Physics*, pp. 800-804. Sobre las cuatro nuevas formas de radiación, los rayos N, véase D. J. S. Price, *Science Since Babylon* (New Haven: Yale University Press, 1961), pp. 84-89. Que los rayos N hayan resultado a fin de cuentas motivo de un escándalo científico no los hace menos reveladores del estado mental de la comunidad científica.

quienes son los más interesados en ellos, los tipos de reajuste que, cuando son más obvios, equiparamos con la Revolución científica. Creo que, porque exigen reajustes como ésos, el proceso del descubrimiento posee, necesaria e inevitablemente, una estructura, y por consiguiente se extiende en el tiempo.

VIII. LA FUNCIÓN DE LA MEDICIÓN EN LA FÍSICA MODERNA*

EN LA universidad de Chicago, la fachada del Instituto de Investigaciones de Ciencias Sociales ostenta el famoso aforismo de lord Kelvin: "Si no se puede medir, el conocimiento será pobre e insatisfactorio."[1] ¿Estaría allí esa afirmación si en lugar de un físico la hubiera dicho un sociólogo, un politólogo o un economista? ¿O aparecerían tan a menudo términos como el de "medida" y "vara de medir" en las discusiones contemporáneas sobre epistemología y método científico, si la física moderna no tuviera el prestigio que tiene y si dentro de ella la medición representase un papel menos importante del que obviamente tiene? Como sospecho que la respuesta a estas dos preguntas es un no rotundo, esta conferencia es para mí un verdadero reto. El hecho de que se acostumbre ver en la física *el* ejemplo del conocimiento sólido y de que sus técnicas cuantitativas sean la clave de su éxito lleva a preguntarse cómo ha funcionado realmente la medición durante los tres últimos siglos en la física y despierta intereses algo ajenos a esta ciencia. Permítaseme, pues, aclarar mi posición general desde un principio. Lo mismo como físico que como historiador de la física creo firmemente que, por lo menos durante siglo y medio, los métodos cuantitativos han sido primordiales para el desarrollo de los campos que estudio. Por otro lado, me encuentro convencido igualmente de que nuestras nociones acerca de la función de la medición así como acerca de la fuente de su especial eficacia proceden en gran parte de un mito.

En parte por esta convicción y en parte por razones más bien de carácter autobiográfico, voy a enfocar el tema desde un punto de vista

* Reimpreso con autorización de *Isis*, 52(1961):161-190. *Copyright* 1961 de la History of Science Society, Inc.

[1] Sobre la inscripción en la fachada, véase *Eleven Twenty-Six: A Decade of Social Science Research*, compilador Louis Wirth (Chicago, 1940), p. 169. El sentir impreso allí se repite en los escritos de lord Kelvin; la expresión más parecida a la citada podría ser la siguiente: "Cuando no puedes decirlo con números, tu conocimiento es de calidad ínfima e insatisfactoria." Véase sir William Thomson, "Electrical Units of Measurement", *Popular Lectures and Addresses*, 3 vols. (Londres, 1889-1891), 1:73.

distinto del de otros que lo han estudiado también.[2] Mi ensayo, salvo hacia el final, no describirá la aplicación creciente de técnicas cuantitativas en la física desde fines de la Edad Media. En lugar de eso, me referiré desde el primer momento a la función real de la medición en la física y al origen de su singular eficacia. Para tal fin, y sólo por eso, la historia será realmente "la enseñanza de la filosofía por medio del ejemplo".

Pero antes de tomar a la historia como fuente de ejemplos, es necesario entender cabalmente si tiene o no tiene sentido asignarle a la historia esta u otra función. Por eso, mi escrito se inicia con una crítica de lo que, según yo, es la imagen más generalizada de la medición científica, imagen cuya verosimilitud y fuerza proceden de la manera como el cálculo y la medición entran en fuente profundamente ahistórica: el libro de texto científico. Tal crítica, que se desarrollará en la siguiente sección, sugerirá que existe una imagen de libro de texto, o de mito de la ciencia, que puede ser sistemáticamente causa de confusión. La función real de la medición —tanto en la búsqueda de nuevas teorías como en la confirmación de las existentes— debe buscarse en las revistas científicas, en donde las teorías aparecen no en forma acabada y aceptada sino en proceso de desarrollo. Concluido este punto, la historia se convertirá forzosamente en nuestra guía, y en las dos secciones siguientes expondré, partiendo de esa fuente, una imagen más válida de las funciones más comunes de la medición. En la sección que sigue, la descripción respectiva servirá para plantear por qué ha resultado ser la medición de tan extraordinaria eficacia en la investigación correspondiente al campo de la física. Sólo entonces, en la sección de conclusiones, trataré de dar una visión panorámica de la ruta seguida por la medición, durante los tres últimos siglos, hasta llegar a su papel actual y predominante dentro de la física.

Antes de entrar en materia, es necesaria una advertencia más. Algunos de los asistentes a esta conferencia parecen entender a veces que la medición es un experimento u observación científicos, carentes de ambigüedad. De ahí que el profesor Boring suponga que Descartes estaba midiendo cuando demostró la presencia de la imagen retiniana invertida en el fondo del ojo; es de suponerse que hubiese dicho lo mismo acerca de la demostración hecha por Franklin de la polaridad

[2] Las secciones medulares de este artículo, que se agregaron al programa presente en fecha posterior, las tomé de mi ensayo: "The Role of Measurement in the Development of Natural Science", revisión multieditada de una charla dada en el Social Sciences Colloquium of the University of California, Berkeley.

de los dos revestimientos de una botella de Leyden. Indudablemente, experimentos como éstos figuran entre los fundamentales y más significativos que se conocen en la física, pero no me parece correcto que se describan sus resultados como mediciones. En todo caso, con esa terminología únicamente se hacen confusos los puntos más importantes que trato de exponer. Supondré, por consiguiente, que una medición —o una teoría completamente cuantificada— produce siempre ciertas cifras. Experimentos como el de Descartes o el de Franklin, que se acaban de mencionar, se clasificarán como cualitativos o no numéricos sin que, así lo espero, se entienda que por ello son menos importantes. Creo que, con esta distinción entre cualitativo y cuantitativo, es posible demostrar que grandes cantidades de trabajo cualitativo son condición previa para una cuantificación fructífera dentro de la física. Sólo cuando se halle establecido ese punto, estaremos en posición de preguntarnos acerca de los efectos de introducir métodos cuantitativos en ciencias que habían venido avanzando sin ayuda de éstos.

La medición en los libros de texto

En grado mucho mayor del que nos damos cuenta, nuestra imagen de la física y de la medición está determinada por los textos científicos. En parte, esa influencia es directa: los libros de texto son la única fuente mediante la cual la mayoría de las personas entran en contacto con la física. Su influencia indirecta, sin embargo, es indudablemente mayor y más generalizada. Los libros de texto o sus equivalentes son los únicos almacenes de los logros realizados por los físicos contemporáneos. La mayoría de los escritos dedicados a la filosofía de la ciencia, así como la mayor parte de los trabajos de vulgarización científica, parten del análisis y la propagación de esos logros. Como lo atestiguan muchas autobiografías, incluso el investigador científico no siempre se halla libre de la imagen de libro de texto obtenida durante sus primeros contactos con la ciencia.[3]

Indicaré someramente por qué el modo de presentación del libro de texto es, de suyo, causa de confusión, pero examinaré primero esa clase de presentación. Admitido que la mayoría de los asistentes a esta

[3] Se examina más detalladamente este fenómeno en mi monografía *The Structure of Scientific Revolutions*, que aparecerá como vol. 2, núm. 2, en la *International Encyclopedia of Unifield Science*. En ese lugar, se examinan también muchos otros aspectos de la imagen de libro de texto de la ciencia, sus orígenes y sus poderes.

conferencia han leído por lo menos un libro de texto de física, me concentraré en el resumen tripartito que aparece en la siguiente figura. Muestra, en el margen superior izquierdo, una serie de enunciados "tipo ley" y teóricos, $(x)\,\phi_i\,(x)$, que en conjunto constituyen la teoría de la ciencia que se está describiendo.[4] El centro del diagrama repre-

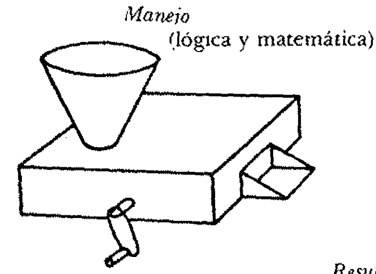
Teoría

$(x)\phi_1(x)$

$(x)\phi_2(x)$

. . . .

$(x)\phi_n(x)$



Resultados

Teoría	Experimento
1.414	1.418
1.732	1.725
2.236	2.237

senta el equipo lógico-matemático empleado para manejar la teoría. Se supone que los enunciados "tipo ley" del ángulo superior izquierdo son introducidos en el alimentador que se halla en la parte superior de la máquina, junto con ciertas "condiciones iniciales" que especifican la situación a la cual se está aplicando la teoría. Se hace girar la manivela; en el interior de la máquina se realizan las operaciones lógicas y

[4] Obviamente, no todos los enunciados necesarios para construir la mayoría de las teorías son de esta forma lógica en particular, pero las complejidades no tienen nada que ver con los asuntos que aquí expongo. R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge, 1953), incluye en su obra una descripción útil, aunque muy general, de la estructura lógica de las teorías científicas.

matemáticas; y del vertedero que se halla al frente de la máquina salen las predicciones numéricas aplicables a este caso. Tales predicciones se anotan en la columna izquierda del cuadro que aparece en el ángulo inferior derecho de la figura. La columna de la derecha contiene los resultados numéricos de mediciones reales, anotados allí para compararlos con las predicciones derivadas de la teoría. En su mayoría, los textos de física, química, astronomía, etc., contienen muchos datos de esta clase, aunque no siempre sean presentados en forma tabular. Por ejemplo, algunos de ustedes estarán más familiarizados con las presentaciones gráficas equivalentes. El cuadro que se halla en el ángulo inferior derecho es de particular interés, pues es allí en donde aparecen explícitamente los resultados de la medición. ¿Qué significado podemos darle al cuadro y a los números que contiene? Supongo que habitualmente hay dos respuestas: la primera es inmediata y casi universal; la segunda, que quizá sea de más importancia, rara vez aparece en forma explícita.

Lo más obvio es que los resultados del cuadro parecen funcionar como una prueba de la teoría. Si concuerdan los números correspondientes de las dos columnas, la teoría es admisible; si no concuerdan, debe modificarse o rechazarse la teoría. Ésta es la función de la medición como confirmación, la cual como ocurre para la mayoría de los lectores, parece surgir de la formulación de libro de texto de una teoría científica completa. Por el momento, supondré que algo de tal función se ejemplifica regularmente en la práctica científica normal, y puede aislarse en escritos cuya finalidad no es exclusivamente pedagógica. En este punto, debemos notar solamente que sobre la cuestión de la práctica los libros de texto no dan indicio alguno. No hay libro de texto en el cual se incluya un cuadro destinado a invalidar la teoría para la cual se escribió dicho texto. Los lectores de textos científicos aceptan las teorías allí expuestas por la autoridad del autor y de la comunidad científica, y no por los cuadros que contienen esos textos. Si, como ocurre a menudo, se leen los cuadros, ello es por otra razón.

Hablaré de esta otra razón dentro de unos momentos, pero primero debo subrayar la segunda función que se le atribuye a la medición: la de exploración. Se supone a menudo que datos numéricos como los reunidos en la columna derecha de nuestro cuadro pueden ser útiles para sugerir nuevas teorías o leyes científicas. Hay quienes parecen dar por sentado que los datos numéricos tienen más probabilidad de dar lugar a nuevas generalizaciones, que cualquier otra clase de datos. Es esa productividad especial, y no la función de la medición como

confirmación, lo que explica probablemente el aforismo de Kelvin inscrito en la fachada de la Universidad de Chicago.[5]

No es nada obvio que nuestras ideas acerca de esta función de los números están relacionadas con el esquema de libro de texto contenido en el diagrama descrito, pero no encuentro otra manera de explicar la especial eficacia que suele atribuírsele a los resultados de la medición. Sospecho que nos estamos enfrentando a un vestigio de creencia, indudablemente obsoleto, de que es posible llegar a las leyes y a las teorías por un proceso que podría describirse como el de "echar a andar la máquina hacia atrás". Dados los datos numéricos que aparecen en la columna "Experimento" del cuadro, la manipulación lógico-matemática —auxiliada, insistirían todos ahora, por la "intuición"— puede llevar al enunciado de las leyes que están implícitas en los números. Si en el descubrimiento hay un proceso siquiera remotamente parecido a éste —si, esto es, las leyes y las teorías son extraídas directamente de los datos por la mente—, entonces se evidencia de inmediato la superioridad de los datos numéricos respecto de los cualitativos. Los resultados de la medición son neutrales y precisos; no pueden provocar confusión. Lo más importante es que los números pueden someterse a manipulaciones matemáticas; más que cualquier otra forma de datos, pueden ser asimilados a los esquemas semimecánicos de los libros de texto.

Ya manifesté mi escepticismo acerca de estas dos descripciones prevalecientes de la función de la medición. En las siguientes dos secciones, compararé cada una de estas funciones con la práctica científica ordinaria. Es preferible, por el momento, continuar el examen crítico de los cuadros de libro de texto. Con ello, quisiera sugerir que nuestros estereotipos acerca de la medición ni siquiera encajan con los esquemas de libro de texto, de los cuales parecen provenir. En un libro de texto, los cuadros numéricos no desempeñan ni la función de explorar ni la función de confirmar; si están allí, es por otra razón. Podemos descubrir esta razón preguntándonos lo que quiere decir el autor de un texto cuando afirma que "concuerdan" los números de la columna "Teoría" con los de la columna "Experimento".

En este caso, el criterio a seguir debe ser el del acuerdo dentro de los límites precisos de los instrumentos de precisión empleados. Como los cálculos provenientes de la teoría pueden llevar-

[5] El profesor Frank Knight, por ejemplo, sugiere que para las ciencias sociales el "significado práctico [del enunciado de lord Kelvin] tiende a ser: "Si no puedes medir, mide de todos modos" (*Eleven Twenty-Six*. p. 169).

se hasta el número deseado de cifras decimales, en principio es imposible el acuerdo exacto o numérico. Pero quienquiera que haya examinado los cuadros en que se comparan los resultados de la teoría con los del experimento debe reconocer que es bastante raro un acuerdo incluso tan modesto como el indicado. Casi siempre en la aplicación de una teoría física hay aproximación (en realidad, el plano *no* "está libre de fricción"; el vacío *no* es "perfecto"; los átomos *no* quedan "inalterados" por las colisiones), y, por tanto, no se espera que la teoría produzca resultados exactos. También es posible que, por su construcción, el instrumento empleado dé lugar a aproximaciones (por ejemplo, la "linealidad" de las características del tubo de vacío) que hagan dudar de la significación del último decimal que pueda leerse inequívocamente en su indicador. O quizá sencillamente se reconozca que, por razones no bien entendidas todavía, la teoría cuyos resultados se han tabulado o el instrumento que se ha empleado en la medición no brindan otra cosa que estimaciones. Por una u otra de estas razones, los físicos rara vez esperan otro acuerdo que no sea el que se da dentro de límites instrumentales. De hecho, suelen desconfiar cuando encuentran tal concordancia. Por lo menos, cuando un estudiante presenta un informe de laboratorio en el que se ve un acuerdo muy estrecho suele sospecharse que hay una probable manipulación de los datos. Al fenómeno de que ningún experimento da el resultado numérico esperado se le llama a veces la "quinta ley de la termodinámica".[6] El hecho de que, a diferencia de otras leyes científicas, tiene excepciones reconocidas no disminuye su utilidad como principio guía.

Por tanto, lo que los científicos buscan regularmente en los cuadros numéricos no es, en modo alguno, la "concordancia razonable". Al mismo tiempo, si nos ponemos a buscar ahora el criterio de "concordancia razonable", nos vemos forzados, literalmente, a ver en los propios cuadros. La práctica científica no muestra un criterio externo aplicado o aplicable consecuentemente. La "concordancia razonable" varía de una rama de la ciencia a otra, y dentro de cualquiera de ellas varía con el tiempo. Lo que para Tolomeo y sus sucesores inmediatos fue concordancia razonable entre la teoría y la observación astronómicas, para Copérnico fue prueba rotunda de que el sistema de Tolomeo era erróneo.[7] Entre las épocas de Cavendish (1731-1810) y Ramsay

[6] Las primeras tres leyes de la termodinámica son bien conocidas fuera del campo. La "cuarta ley" dice que no hay aparato experimental que trabaje la primera vez que se echa a andar. Examinaremos más adelante testimonios relativos a la quinta ley.

[7] T. S. Kuhn, *The Copernican Revolution* (Cambridge, Mass., 1957), pp. 72-76, 135-143.

(1852-1916), en el terreno de la química, un cambio semejante de los criterios aceptados de "concordancia razonable" condujo al estudio de los gases nobles. [8] Estas divergencias son típicas y semejantes a las que existen en las ramas contemporáneas de la comunidad científica. En partes de la espectroscopia, la "concordancia razonable" significa acuerdo en los primeros seis u ocho dígitos antes del punto decimal de las cifras de un cuadro de longitudes de onda. En la teoría de los sólidos, en cambio, se considera muy buena una concordancia de dos lugares decimales. Con todo, hay partes de la astronomía en que la búsqueda de una concordancia tan relativa debe parecer utópica. En el estudio teórico de las magnitudes estelares, se da por "razonable" una concordancia con respecto a un factor de 10.

Nótese que hemos contestado, inadvertidamente, la pregunta de la cual partimos. Hemos dicho que la "concordancia" entre la teoría y el experimento debe significar si ese criterio ha de extraerse de los cuadros de un texto científico, pero al hacerlo así hemos cerrado el círculo. Comencé preguntando, al menos por implicación, por las características que deben mostrar las cifras del cuadro para que pueda decirse que "concuerdan". Concluyo ahora que el único criterio posible es el mero hecho de que aparezcan, junto con la teoría de la cual provienen, en un texto aceptado por los profesionales. Cuando aparecen dentro de un texto, los cuadros de números extraídos de la teoría y de los experimentos no pueden demostrar otra cosa que una "concordancia razonable". Y únicamente lo demuestran por tautología, ya que no dan otra cosa que la definición de "concordancia razonable" que ha sido aceptada por la profesión. Por eso, creo, es que están allí los cuadros: definen la "concordancia razonable". Estudiándolos, el lector aprende lo que puede esperarse de la teoría. El conocimiento de los cuadros es parte del conocimiento de la teoría. Sin ellos, la teoría estaría incompleta en lo esencial. Con respecto a la medición, no sería tanto no verificada como no verificable, lo que nos aproxima a la conclusión de que, en cuanto ha sido incorporada a un texto —lo que, para nuestro propósito, significa en cuanto ha sido adoptada por la profesión—, se reconoce que ninguna teoría puede ser verificable por ninguna prueba cuantitativa a la que no se la haya sometido ya.[9]

[8] William Ramsay, *The Gases of the Atmosphere: The History of Their Discovery* (Londres, 1896), caps. 4 y 5.

[9] Proseguir este asunto nos llevaría fuera del tema de este artículo; pero debiera proseguirse porque, si tengo razón, se relaciona con la importante controversia, de actualidad, sobre la distinción entre verdad analítica y verdad sintética. En la medida en

Quizá estas conclusiones no sean sorprendentes. En realidad, no tienen por qué serlo. Después de todo, los libros de texto se escriben tiempo después de los descubrimientos y los procedimientos de confirmación cuyos *resultados* registran. Además, se escriben con propósitos pedagógicos. El objetivo de un libro de texto es el de darle al lector, de la manera más económica y fácil de asimilar, un enunciado de lo que la comunidad científica contemporánea cree que sabe, así como de los usos principales que pueden dársele a ese conocimiento. La información relativa a la forma en que se adquirió ese conocimiento —el descubrimiento— y a la razón de que haya sido aceptado por la profesión —confirmación— es, en el mejor de los casos, un exceso de equipaje. No obstante que incluir esa información podría aumentar los valores "humanistas" del texto y fomentar la educación de científicos más flexibles y creativos, haría también que el texto se alejara de la facilidad de aprender el lenguaje científico contemporáneo. Hasta la fecha, sólo el último objetivo ha sido tomado en serio por la mayoría de los escritores de libros de texto sobre ciencias naturales. En consecuencia, aunque los textos sirvan para que los filósofos descubran la estructura lógica de las teorías científicas terminadas, es probable que sirvan más para confundir que para ayudar al neófito que reclama métodos productivos. Con la misma esperanza, podría buscarse en un libro de texto sobre lenguaje, de nivel universitario, la caracterización autorizada de la literatura correspondiente. Los textos sobre idiomas, como los textos científicos, enseñan a *leer* la literatura, pero no a crearla ni a evaluarla. Y lo más probable es que las indicaciones que den sobre estos puntos sean causa de confusión.[10]

que una teoría debe ir acompañada de un enunciado sobre la prueba de ella para tener significado empírico, la teoría total (que incluye la prueba) debe ser verdadera analíticamente. Sobre un enunciado del problema filosófico de la analiticidad, véase W. V. Quine, "Two Dogmas of Empiricism" y otros ensayos en *From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass., 1953). Para una discusión estimulante, pero no rigurosa, de la posición, ocasionalmente analítica, de las leyes científicas, véase N. R. Hanson, *Patterns of Discovery* (Cambridge, 1958), pp. 93-118. Una discusión nueva del problema filosófico, que incluye copiosa referencia a la literatura de la controversia, se encuentra en Alan Pasch, *Experience and the Analytic: A Reconsideration of Empiricism* (Chicago, 1958).

[10] Por la monografía citada en la nota 3, se argumentará que la desviación propiciada por los libros de texto científicos es tanto sistemática como funcional. No está claro, de ningún modo, cómo sería que una imagen más exacta del proceso de la ciencia hiciera de los físicos investigadores más eficientes.

RAZONES DE LA MEDICIÓN NORMAL

Las anteriores consideraciones imponen nuestro siguiente paso. Tenemos que preguntarnos ahora cómo es que la medición viene a yuxtaponerse a las leyes y a las teorías en los textos científicos. Además, debemos buscar la respuesta en la prensa científica, que es el medio a través del cual los científicos comunican sus trabajos originales y evalúan los hechos por sus colegas.[11] El recurrir a esta clase de literatura de inmediato hace dudar de una de las implicaciones del habitual esquema de libro de texto. Sólo una minúscula fracción de las mediciones mejores y más creativas efectuadas por los científicos resulta del deseo de descubrir nuevas regularidades cuantitativas o de confirmar las antiguas. Sólo una fracción mínima es la que da lugar a cualquiera de estos dos efectos. Hay unas cuantas que sí los tienen, y tendré algo que decir acerca de ellas en las siguientes dos secciones. Pero lo mejor será comenzar por descubrir por qué son tan raras estas mediciones exploratorias y confirmatorias. Por consiguiente, en esta sección y en la mayor parte del texto, me limitaré a la función más usual de la medición en la práctica normal de la ciencia.[12]

Probablemente la clase de genio más rara y más profunda dentro de la física sea la manifestada por hombres que, como Newton, Lavoisier

[11] Claro que es algo anacrónico aplicar los términos de "revistas" o "libros de texto", en todo el periodo que se me ha pedido que analice. Pero estoy tratando de subrayar una forma de comunicación profesional cuyos orígenes pueden encontrarse, por lo menos, en el siglo XVII, y cuyo rigor ha venido creciendo desde entonces. Hubo una época —diferente en las diferentes ciencias— en que la forma de comunicación en la ciencia fue muy parecida a la que se ve todavía en las humanidades y en las ciencias sociales; pero en todas las ciencias físicas tiene por lo menos un siglo de desaparecida, y en muchas de ellas desapareció desde antes. En la actualidad, todos los resultados de investigaciones se publican en revistas que sólo leen los miembros de la profesión. Los libros son exclusivamente libros de texto, compendios, vulgarizaciones y reflexiones filosóficas, y escribirlos es actividad algo sospechosa, por ser considerada no profesional. Sobra decir que esta distinción, clara y contundente, entre artículos y libros, escritos de investigación y de otra índole, aumenta enormemente la fuerza de lo que he venido llamando imagen de libros de texto.

[12] Aquí y en otras partes de este artículo pasaré por alto la gran cantidad de mediciones hechas sencillamente para obtener información factual. Pienso que mediciones como las de gravedad específica, longitudes de onda, constantes de elasticidad, puntos de ebullición, etc., se efectúan para determinar parámetros que han de insertarse en las teorías científicas, pero que éstas no predicen los resultados numéricos en cuestión —o bien no los predicen en el periodo de que se trata—. Esta clase de mediciones no carece de interés, pero creo que es una cosa bien entendida. En todo caso, considerarlo extendería demasiado los alcances de este artículo.

o Einstein, enuncian una teoría completamente nueva que tiene la potencialidad de reordenar un vasto número de fenómenos naturales. Sin embargo, las reformulaciones radicales de esta índole son en extremo raras, principalmente porque el estado de la ciencia en muy pocas ocasiones da la oportunidad de que se hagan. Además, no son los únicos acontecimientos de verdad esenciales y creativos para el desarrollo del conocimiento científico. En las ciencias naturales, el nuevo orden a que da lugar una teoría nueva y revolucionaria viene a ser siempre un orden *potencial*. Para hacerlo *real*, hacen falta mucho trabajo y mucha destreza, aunados al genio ocasional. Pero debe hacerse real, pues únicamente a través del proceso de realización pueden descubrirse las ocasiones para hacer nuevas formulaciones teóricas. En su mayor parte, la práctica científica es así una operación de limpieza, compleja y laboriosa, que consolida el terreno ganado por la avanzada teórica más reciente, y asegura la preparación esencial para que continúe el avance. En tales operaciones de limpieza, es donde la medición tiene su función científica más común.

La importancia y la dificultad de estas operaciones de consolidación pueden sugerirla el estado actual de la teoría de la relatividad general de Einstein. Las ecuaciones provenientes de esa teoría han resultado ser tan difíciles de aplicar que —salvo el caso límite en que las ecuaciones pueden reducirse a las de la relatividad especial— hasta la fecha sólo han producido tres predicciones susceptibles de ser probadas por observación.[13] Hombres de genio indudable han fracasado totalmente en la tarea de formular otras ecuaciones, y el problema continúa siendo su foco de atención. En tanto no sea resuelta ni pueda ser explotada, la teoría general de Einstein sigue siendo un logro en gran parte infructuoso.[14]

Indudablemente, la teoría general de la relatividad es un caso extremo, pero la situación que ilustra es típica. Para dar un ejemplo algo más amplio, considérese el problema al que se enfrentó gran parte de

[13] Son éstas la deflexión de la luz en el campo gravitacional del Sol, la precisión del perihelio de Mercurio y el desplazamiento hacia el rojo de la luz de las estrellas lejanas. En el estado actual de la teoría, sólo las dos primeras son verdaderas predicciones cuantitativas.

[14] Las dificultades para encontrar aplicaciones concretas de la teoría general de la relatividad no deben impedir que los científicos aprovechen el punto de vista científico incorporado en esa teoría. Pero, quizá desgraciadamente, así parece estar ocurriendo. A diferencia de la teoría especial, los estudiantes de física prácticamente no se dedican a la teoría general. Cabe pensar que dentro de cincuenta años se habrá perdido de vista totalmente este aspecto de las aportaciones de Einstein.

lo más granado del pensamiento científico del siglo XVIII: el de inferir predicciones numéricas comprobables, de las tres leyes del movimiento de Newton, así como de su principio de la gravitación universal. Cuando Newton enunció su teoría, a fines del siglo XVII, sólo su tercera ley —la de la igualdad de la acción y la reacción— podía ser investigada directamente por medio de experimentos, pero los experimentos correspondientes se aplicaban tan sólo a casos muy especiales.[15] Las primeras demostraciones directas e inequívocas de la segunda ley tuvieron que esperar la construcción de la máquina de Atwood, delicado aparato de laboratorio que no fue inventado hasta casi un siglo después de la aparición de los *Principia*.[16]

Las investigaciones cuantitativas directas de la atracción gravitacional resultaron ser más difíciles todavía y no aparecieron en la literatura científica hasta 1798.[17] Aun a la fecha, la primera ley de Newton no puede compararse directamente con los resultados de mediciones de laboratorio, si bien los avances en el lanzamiento y control de cohetes hacen probable que no tengamos mucho más.

Demostraciones directas, como la de Atwood, son naturalmente las que figuran más en los textos de ciencias naturales y en ejercicios de laboratorio elementales. Por ser simples e inequívocas, tienen un gran valor pedagógico. Y, pedagógicamente hablando, el hecho de que hayan empezado a aparecer aquí y allá más de un siglo después de la publicación del trabajo de Newton no ocasiona ninguna diferencia. Cuando mucho, induce a confundir la naturaleza de los logros científi-

[15] Los experimentos más pertinentes y a los que más se recurrió fueron ejecutados con péndulos. La determinación del retroceso de los dos pesos de sendos péndulos que chocan parece haber sido el principal instrumento conceptual y experimental empleado en el siglo XVII para determinar lo que eran la "acción" y la "reacción" dinámicas. Véase A. Wolf, *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Sixteenth and Seventeenth Centuries*, nueva ed. preparada por D. McKie (Londres, 1950), pp. 155, 231-235; y R. Dugas, *La mécanique au xvii*e *siècle* (Neuchâtel, 1954), pp. 283-298; y *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of Natural Philosophy and His System of the World*, F. Cajori, compilador (Berkeley, 1934), pp. 21-28. Wolf (p. 155) describe la tercera ley como "la única ley *física* de las tres".

[16] Véase la excelente descripción de este aparato así como el análisis de las razones de Atwood para construirlo, en Hanson, *Patterns of Discovery*, pp. 100-102 y notas a estas páginas.

[17] A. Wolf, *A History of Science, Technology, and Philosophy in the Eighteenth Century*, 2ª ed. rev. por D. McKie (Londres, 1952), pp. 111-113. Hay algunos precursores de las mediciones efectuadas por Cavendish en 1798, pero sólo éste logró obtener resultados inequívocos.

cos.[18] Pero si los contemporáneos y los sucesores de Newton hubiesen tenido que esperar tanto tiempo para disponer de pruebas cuantitativas, nunca se hubiera construido el aparato capaz de proporcionarlas. Por fortuna, hubo otro camino, y muchos de los grandes talentos científicos del siglo XVIII lo siguieron. Gracias a manipulaciones matemáticas complejas, que explotan conjuntamente todas las leyes, fue posible hacer otras clases de predicciones que pudiesen ser comparadas con observaciones cuantitativas, particularmente con observaciones de péndulos en el laboratorio y con observaciones astronómicas de los movimientos de la Luna y los planetas. Pero estas predicciones presentaron otro problema igualmente agudo, el de las aproximaciones esenciales.[19] Las suspensiones de los péndulos de laboratorio no son ni carentes de peso ni perfectamente elásticas; la resistencia del aire obstaculiza el movimiento del peso del péndulo; además, este mismo es de tamaño finito, y está de por medio la cuestión de qué punto del peso debe tomarse para calcular la longitud del péndulo. Si se omiten estos tres aspectos de la situación experimental, sólo puede esperarse una concordancia cuantitativa muy burda entre la teoría y la observación. Pero determinar la manera de reducirlos —lo que solamente puede hacerse por entero con el último de estos aspectos—, así como la tolerancia que debe tenerse con respecto a los residuos, son problemas de los más difíciles. Desde la época de Newton, grandes y brillantes investigaciones se han dedicado a resolverlos.[20]

Los problemas que se encuentran al aplicar las leyes de Newton a la predicción astronómica son más reveladores aún. Como cada uno de los cuerpos del sistema solar ejerce atracción sobre los demás, a la vez

[18] Los modernos aparatos de laboratorio con los que se le ayuda al estudiante a estudiar la ley galileana de la caída libre son buen ejemplo de la manera como la pedagogía desvirtúa la imagen histórica de la relación entre la ciencia creativa y medición. Lo más probable es que ninguno de los aparatos que hoy están en uso se podría haber construido en el siglo XVII. Uno de los dispositivos, mejores y más conocidos, por ejemplo, permite que un cuerpo pesado caiga entre un par de rieles paralelos y verticales. Entre tales rieles, se hace pasar una corriente eléctrica cada centésimo de segundo, y la chispa que pasa de riel a riel y a través del peso queda registrada sobre una cinta tratada químicamente; así pues, se registra la posición del peso cada centésimo de segundo. Otros aparatos son cuentaminutos eléctricos, etc. Respecto a las dificultades históricas que implica el hacer mediciones relativas a esta ley, véase más adelante.

[19] En todas las aplicaciones de las leyes de Newton hay aproximaciones, pero en los ejemplos siguientes las aproximaciones tienen una importancia cuantitativa de la que carecen las anteriores.

[20] Wolf (*Eighteenth Century*, pp. 75-81) da una buena descripción preliminar de este trabajo.

que es atraído por cada uno de éstos, en los días de Newton la predicción exacta de los fenómenos celestes exigía la aplicación de sus leyes a los movimientos e interacciones simultáneos de ocho cuerpos celestes. (Éstos eran el Sol, la Luna y los seis planetas conocidos. Paso por alto los demás satélites planetarios.) El resultado es un problema matemático que nunca se ha logrado resolver con exactitud. Para obtener ecuaciones que pudiesen ser resueltas, Newton se vio obligado a simplificar el problema, suponiendo que cada uno de los planetas era atraído sólo por el Sol, y la Luna sólo por la Tierra. Con tal suposición, pudo derivar las famosas leyes de Kepler, maravilloso y convincente argumento a favor de su teoría. Pero la desviación de los planetas con respecto a los movimientos predichos por las leyes de Kepler se aprecia fácilmente tan sólo con hacer observaciones telescópicas cuantitativas. Para descubrir la manera de manejar estas desviaciones conforme a la teoría de Newton, fue necesario idear estimaciones matemáticas de las "perturbaciones" producidas en una órbita, básicamente kepleriana, por las fuerzas interplanetarias omitidas en la derivación inicial de las leyes de Kepler. El genio matemático de Newton realizó la proeza de producir la primera estimación bruta aplicable a la perturbación del movimiento de la Luna, causada por el Sol. Mejorar su respuesta y dar respuestas aproximadas y parecidas en relación con los planetas fue un problema que inquietó a los más grandes matemáticos de los siglos XVIII y XIX, incluidos Euler, Lagrange, Laplace y Gauss.[21] Gracias a los trabajos de estos personajes fue posible reconocer la anomalía en el movimiento de Mercurio, que sólo puede ser explicada mediante la teoría general de Einstein. Dicha anomalía había estado oculta dentro de los límites de la "concordancia razonable".

Hasta aquí, la situación ilustrada por la aplicación cuantitativa de las leyes de Newton es, creo, perfectamente característica. Ejemplos parecidos pueden extraerse de la historia de las teorías de la luz corpuscular, ondulatoria o de la mecánica cuántica; de la historia de la teoría electromagnética; del análisis químico cuantitativo; o de cualquier otra de las numerosas teorías científicas, pertenecientes a las ciencias naturales, y que tienen consecuencias cuantitativas. En cada uno de estos casos resultó extremadamente difícil hallar muchos problemas que permitiesen la comparación cuantitativa de la teoría con la observación. Incluso al encontrarse tales problemas, fue nece-

[21] *Ibid.*, pp. 96-101. William Whewell, *History of Inductive Sciences*, ed. rev., 3 vols. (Londres, 1847), 2: 213-271.

sario que los más destacados talentos científicos inventaran aparatos, redujeran efectos perturbadores y estimaran la tolerancia relativa a los que persistían. Ésta es la clase de trabajo que la mayoría de los físicos hace la mayor parte del tiempo *en la medida en que sus trabajos son cuantitativos*. Su objetivo es, por una parte, mejorar la medición de la "concordancia razonable" característica de la teoría en una aplicación dada y, por la otra, abrir nuevos campos de aplicación y establecer nuevas medidas de "concordancia razonable" aplicable a ellos. Para quienquiera que le entusiasmen los acertijos matemáticos o de manipulación, éste puede ser un trabajo de lo más fascinante y satisfactorio. Y existe siempre la remota posibilidad de que se obtenga un dividendo más: algo puede estar equivocado.

Sin embargo, a menos que algo esté equivocado —situación que se examinará en otra sección—, estas investigaciones cada vez más refinadas de la concordancia cuantitativa entre la teoría y la observación no pueden describirse ni como intentos de descubrimiento ni de confirmación. Quien logra tener éxito aquí demuestra su talento, pero lo hace obteniendo un resultado que toda la comunidad científica había previsto que alguien obtendría algún día. Su éxito reside exclusivamente en la demostración explícita de un acuerdo *ya implícito* entre la teoría y el mundo. No se ha extraído de la naturaleza ninguna novedad. Del científico que logra éxito en esta clase de trabajo, tampoco puede decirse que haya "confirmado" la teoría que guió su investigación. Pues si su éxito "confirma" la teoría, entonces el fracaso debiera "invalidarla", y en este caso ninguna de las dos cosas es verdad. El fracaso en resolver uno de estos acertijos cuenta únicamente en contra del científico; gasta una gran cantidad de tiempo en un proyecto cuyo resultado no vale la pena publicar; si hay que sacar alguna conclusión, ésta será únicamente la de que su talento no era el adecuado para ese trabajo. Si la medición conduce alguna vez al descubrimiento o a la confirmación, esto no ocurre en la más usual de todas sus aplicaciones.

Los efectos de la medición normal

En las ciencias naturales, hay otro aspecto importante en el problema normal de la medición. Hasta aquí, hemos estado viendo por qué los científicos acostumbran medir; debemos considerar ahora los resultados que obtienen al hacerlo. Surge de inmediato otro estereotipo fomentado por los libros de texto. En éstos, los números que resultan de la medición aparecen como los arquetipos de "los hechos irreducti-

bles y obstinados", a los cuales deben conformarse, después de luchar con ellos, las teorías del científico. Pero en la práctica, como puede verse en las publicaciones científicas, lo que al parecer ocurre es que el científico está luchando con los hechos, tratando de obligarlos a conformarse a una teoría que él no pone en duda. Los hechos cuantitativos dejan de parecerle sencillamente "lo dado". Debe luchar contra ellos, y en esa lucha la teoría con la cual son comparados demuestra ser el arma más potente. Es frecuente que el científico no pueda obtener cifras que concuerden con la teoría mientras no sepa qué cifras debe hacer que produzca la naturaleza.

Parte de este problema consiste sencillamente en la dificultad de encontrar técnicas e instrumentos que permitan la comparación de la teoría con mediciones cuantitativas. Ya vimos que fue necesario casi un siglo para inventar una máquina que diera una demostración cuantitativa directa de la segunda ley de Newton. Pero la máquina que Charles Atwood describió en 1784 no fue el primer instrumento construido para obtener la información cuantitativa pertinente a esa ley. Ya se habían hecho intentos parecidos desde que Galileo describió su clásico experimento del plano inclinado en 1638.[22] Galileo, con su brillante intuición, había visto en este aparato de laboratorio una manera de investigar la forma en que un cuerpo se mueve cuando es abandonado a su propio peso. Después del experimento, anunció que la medición de la distancia recorrida, en un tiempo dado, por una esfera que rueda plano abajo confirmaba su tesis de que ese movimiento era uniformemente acelerado. Reinterpretado por Newton, este resultado ejemplificó la segunda ley para el caso especial de una fuerza uniforme. Pero Galileo no informó de las cifras que había obtenido, y un grupo formado por los mejores científicos de Francia anunció que había fracasado totalmente en obtener resultados comparables. Incluso publicaron sus dudas acerca de que Galileo hubiese realizado en verdad el experimento.[23]

Lo más seguro es que Galileo sí haya llevado a cabo el experimento. Si así fue, obtuvo seguramente resultados cuantitativos que le parecieron una concordancia *adecuada* con la ley $d = \frac{1}{2} at^2$ que, según su demostración, era una consecuencia de la aceleración uniforme. Pero quienquiera que haya observado los cronómetros de cuerda o eléctri-

[22] Para una versión moderna, en inglés, del original, véase Galileo Galilei, *Dialogues Concerning Two New Sciences*, trad. al inglés de Henry Crew y A. De Salvio (Evanston y Chicago, 1946), pp. 171-172.

[23] La historia completa se encuentra brillantemente expuesta en A. Koyré, "An Experiment in Measurement", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 97 (1953): 222-237.

cos, y los largos planos inclinados, o los pesados volantes necesarios para ejecutar este experimento en los modernos laboratorios elementales, puede sospechar, con razón, que los resultados de Galileo a lo mejor no fueron un acuerdo *inequívoco* con su ley. Muy posiblemente el grupo de científicos franceses, al ver los mismos datos, tuvo que dudar de que éstos ejemplificasen la aceleración uniforme. En su mayor parte, esto es desde luego una especulación. Pero el elemento especulación no sirve para poner en tela de juicio mi afirmación de que, independientemente de su origen, el desacuerdo entre Galileo y los que trataron de repetir su experimento fue enteramente natural. Si la generalización de Galileo no hubiese arrojado a los científicos de su época hasta el borde mismo de los aparatos de experimentación existentes, campo en que eran inevitables la dispersión experimental y el desacuerdo acerca de la interpretación, entonces no hubiese hecho falta ningún genio que la formulara. Su ejemplo caracteriza uno de los aspectos más importantes del genio teórico de las ciencias naturales: es un genio que va adelante de los hechos, y que deja la captura de éstos para los talentos, bastante diferentes, del experimentalista y el instrumentalista. En este caso, capturar los hechos tomó mucho tiempo. Se construyó la máquina de Atwood porque, a mediados del siglo XVIII, algunos de los mejores científicos del continente europeo se preguntaban todavía si la aceleración constituía la medida propia de la fuerza. Aunque sus dudas provenían de más de una medición, ésta seguía siendo todavía lo suficientemente equívoca como para ajustarse a las más diversas conclusiones cuantitativas.[24]

El ejemplo anterior ilustra las dificultades y también el papel de la teoría en la tarea de reducir la dispersión en los resultados de la medición. Pero el problema no termina aquí. Cuando la medición es insegura, una de las pruebas de la confiabilidad de los instrumentos existentes y de las técnicas de manipulación debe consistir, inevitablemente, en su capacidad para dar resultados que concuerden favorablemente con la teoría existente. En algunas partes de la ciencia natural, sólo de esta manera puede juzgarse la adecuación de la técnica experimental. Cuando tal ocurre, no puede ni siquiera hablarse de instrumentación o técnica "inseguras", dando a entender que éstas podrían mejorarse sin recurrir a una norma teórica externa.

Por ejemplo, cuando John Dalton tuvo la idea de emplear mediciones químicas para establecer una teoría atómica, que había concebido partiendo de observaciones meteorológicas y físicas, comenzó buscando datos pertinentes en la literatura especializada de su tiempo. Pronto se dio cuenta de que las cosas se aclararían significativamente

[24] Hanson, *Patterns of Discovery*, p. 101.

estudiando grupos de reacciones en que un solo par de elementos, por ejemplo, el nitrógeno y el oxígeno, entraran en más de una combinación química. De ser cierta su teoría atómica, las moléculas componentes de esas sustancias diferirían únicamente en la razón del número de átomos enteros de cada elemento que contuviesen. Los tres óxidos del nitrógeno podrían tener, por ejemplo, moléculas N_2O, NO y NO_2, o bien otro arreglo por el estilo.[25] Pero cualesquiera que fuesen las ordenaciones particulares, si el peso del nitrógeno fuese el mismo en las muestras de los tres óxidos, entonces los pesos del oxígeno en las tres muestras se relacionarían entre sí por proporciones simples de números enteros. La generalización de este principio a todos los grupos de compuestos formados a partir del mismo grupo de elementos produjo la ley de las proporciones múltiples de Dalton.

Sobra decir que, en su investigación bibliográfica, Dalton obtuvo algunos datos que, desde su punto de vista, apoyaban suficientemente su ley. Pero —y ésta es la clave del ejemplo— muchos de los demás datos no la apoyaban en modo alguno. Por ejemplo, las mediciones hechas por el químico francés Proust, de los dos óxidos del cobre, produjeron, respecto de una cantidad dada de cobre, una razón de peso para el oxígeno de 1.47:1. Según la teoría de Dalton, esa razón debería haber sido de 2:1, y es precisamente de Proust de quien podría haberse esperado la confirmación de la predicción. En primer lugar, era un cuidadoso experimentalista. Además, había participado en una importante controversia sobre los óxidos de cobre, en la cual sostuvo un punto de vista semejante al de Dalton. Pero, a principios del siglo XIX, los químicos no sabían cómo realizar análisis cuantitativos que mostrasen la presencia de proporciones múltiples. Hacia 1850, ya habían aprendido, pero sólo dejándose guiar por la propia teoría de Dalton. Sabiendo qué resultados deberían esperar de sus análisis, los químicos fueron capaces de idear técnicas para obtenerlos. En consecuencia, en los textos de química se puede afirmar ahora que el análisis cuantitativo confirma la teoría atómica de Dalton, olvidándose de que, históricamente hablando, las técnicas analíticas correspon-

[25] Ésta no es, desde luego, la notación original de Dalton. La he modernizado y simplificado parcialmente en este escrito. Para reconstruirla, véase A. N. Meldrum, "The Development of the Atomic Theory: (1) Berthollet's Doctrine of Variable Proportions", *Manchester Memoirs*, 54 (1910): 1-16; y "(6) The Reception accorded to the Theory advocated by Dalton", *ibid.*, 55 (1911): 1-10; L. K. Nash, *The Atomic Molecular Theory*, Harvard Case Histories in Experimental Science, case 4 (Cambridge, Mass., 1950); y "The Origins of Dalton's Chemical Atomic Theory", *Isis*, 47 (1956): 110-116. Véanse también las útiles discusiones dispersas en J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2ª ed. (Londres, 1951).

dientes se basan en la propia teoría que, se dice, confirman. Antes de que se publicara la teoría de Dalton, las mediciones no arrojaban los mismos resultados. Así en la física como en las ciencias sociales, hay profecías que se cumplen sólo porque se tiene el deseo de que se cumplan.

El ejemplo anterior me parece característico de la forma en que la medición responde a la teoría en muchos terrenos de las ciencias naturales. Con respecto a mi siguiente ejemplo, bastante extraño, estoy menos seguro de que sea característico, pero mis colegas que trabajan en física nuclear me aseguran que han encontrado repetidas veces cambios irreversibles, semejantes al ejemplificado, en los resultados de sus mediciones.

Muy al principio del siglo XIX, Laplace, quizá el mejor y ciertamente el más famoso físico de su época, sugirió que partiendo del fenómeno recientemente observado de que un gas se calienta cuando es comprimido rápidamente, podría explicar una de las discrepancias numéricas más notorias de la física teórica. Consistía ésta en el desacuerdo, de aproximadamente el 20%, entre los valores predichos y medidos de la velocidad del sonido en el aire —discrepancia que había llamado la atención de todos los mejores físicos-matemáticos europeos, desde Newton, quien la había descubierto—. Cuando Laplace dio a conocer su idea, era prácticamente hacer la confirmación numérica —nótese la recurrencia de esta dificultad característica—, pues exigía delicadas mediciones de las propiedades térmicas de los gases, las cuales rebasaban la capacidad de los aparatos destinados a mediciones en sólidos y líquidos. Pero la Academia Francesa ofreció un premio a quien lograra hacerlas, y en 1813 ganaron el premio dos brillantes y jóvenes experimentalistas, Delaroche y Bérard, personajes cuyos nombres se siguen citando en la literatura científica de nuestros días. Laplace empleó los resultados de esas mediciones en un cálculo teórico indirecto de la velocidad del sonido en el aire, y la discrepancia entre la teoría y la medición se redujo del 20 al 2.5%, un verdadero triunfo en vista del estado de los recursos de medición de la época.[26]

Hasta la fecha, sin embargo, nadie puede explicarse cómo se logró ese triunfo. En la interpretación que Laplace hizo de las cifras de Delaroche y Bérard, recurrió a la teoría del calórico en una región en donde nuestra propia ciencia está segura de que la teoría difiere aproximadamente en 40% de los experimentos cuantitativos que ata-

[26] T. S. Kuhn, "The Caloric Theory of Adiabatic Compression", *Isis*, 49 (1958): 132-140.

ñen directamente a este problema. Pero hay también una discrepancia del 12% entre las mediciones de Delaroche y Bérard y los resultados de experimentos equivalentes que se realizan hoy en día. Todavía no somos capaces de obtener sus resultados cuantitativos. Sin embargo, en los cálculos directos y esenciales que hizo Laplace partiendo de la teoría, estas dos discrepancias, la experimental y la teórica, se anulan, de manera que se obtiene finalmente el acuerdo entre las velocidades del sonido predicha y medida. Estoy seguro de que no podemos descartar este resultado atribuyéndolo a un mero descuido. Tanto el teórico como los experimentalistas que participaron fueron hombres de sólido prestigio. En lugar de eso, debemos ver aquí una prueba de la forma en que la teoría y el experimento pueden guiarse mutuamente en la exploración de campos nuevos para ambos.

Con lo anterior se refuerza el punto surgido de los ejemplos de la última sección. Explorar la concordancia entre teoría y experimento dentro de áreas nuevas o dentro de nuevos límites de precisión es un trabajo difícil, incensante y, para muchos, excitante. Aunque su objeto no sea ni el descubrimiento ni la confirmación, posee el atractivo suficiente como para que los físicos dedicados al trabajo cuantitativo le consagren todo su tiempo y atención. Les exige lo mejor de sus capacidades imaginativas, de intuición y percepción. Además —combinados con los de la última sección—, estos ejemplos pueden demostrar otras cosas. Indican por qué las nuevas leyes de la naturaleza se descubren tan raras veces con sólo examinar los resultados de mediciones hechas sin conocimiento anticipado de tales leyes. Cómo las leyes científicas, en su mayoría, tienen tan pocos puntos de contacto cuantitativos con la naturaleza; cómo las investigaciones de esos puntos de contacto suelen exigir instrumentación y aproximaciones demasiado laboriosas; y cómo la propia naturaleza tiene que ser obligada a producir los resultados adecuados, la ruta que va de la teoría o la ley a la medición casi nunca puede ser recorrida hacia atrás. Los números colectados sin algún conocimiento de la regularidad que se espera casi nunca hablan por sí mismos. Ciertamente, siguen siendo sólo números.

Esto no quiere decir que nunca haya habido nadie que hubiese descubierto una regularidad cuantitativa por puras mediciones. La ley de Boyle, que relaciona la presión de un gas con su volumen; la ley de Hooke, que relaciona la deformación de un resorte con la fuerza aplicada; y la relación de Joule, entre el calor generado, la resistencia eléctrica y la corriente, fueron todos ellos resultados directos de medi-

ciones. Hay más ejemplos todavía. Pero, en parte porque son tan excepcionales y en parte porque nunca ocurren mientras el científico que mide no conoce *casi toda* la forma particular del resultado cuantitativo que debe obtener, estas excepciones demuestran precisamente lo improbable del descubrimiento cuantitativo por medio de mediciones cuantitativas. Los casos de Galileo y Dalton —hombres que intuyeron un resultado cuantitativo como la expresión más simple de una conclusión cualitativa y luego lucharon en contra de la naturaleza para confirmarlo— son acontecimientos científicos mucho más característicos. Incluso Boyle no encontró su ley en tanto él mismo y dos de sus lectores no sugirieron que precisamente esa ley —la forma cuantitativa más simple producida por la regularidad cualitativa observada— debía ser la resultante al registrarse los resultados numéricos.[27] Aquí, también, las implicaciones cuantitativas de una teoría cualitativa mostraron el camino.

Quizá con un ejemplo más se aclaren por lo menos algunas de las condiciones previas para que se dé esta clase excepcional de descubrimiento. La búsqueda experimental de una ley o leyes que describiesen la variación de las fuerzas con la distancia entre cuerpos magnetizados y entre cuerpos cargados eléctricamente comenzó en el siglo XVII y prosiguió activamente durante el siglo XVIII. Sin embargo, apenas en las décadas inmediatamente anteriores a las investigaciones clásicas de Coulomb, realizadas en 1785, la medición comenzó a producir una respuesta más o menos inequívoca a esos problemas. La diferencia entre el éxito y el fracaso parece haber estado en la asimilación tardía de una lección implícita en la teoría de Newton. Las leyes de las fuerzas simples, como la ley del cuadrado inverso de la atracción gravitacional, son de esperarse únicamente entre puntos matemáticos o cuerpos que se aproximan a éstos. Las leyes de la atracción entre cuerpos grandes, más complejas, pueden derivarse de la ley, relativamente simple, que gobierna la atracción de puntos, sumando todas las fuerzas que se dan entre todos los pares de puntos de los dos cuerpos. Pero será muy raro que estas leyes adopten una forma matemática simple, a menos que la distancia entre los dos cuerpos sea grande comparada con las dimensiones de los cuerpos que se atraen. En estas circunstancias, los cuerpos se conducirán como puntos, y el experimento revelará tal vez que hay una regularidad simple.

[27] Marie Boas, *Robert Boyle and Seventeenth-Century Chemistry* (Cambridge, 1958), p. 44.

Considérese únicamente el caso, más sencillo desde el punto de vista histórico, de las atracciones y las repulsiones eléctricas.[28] En la primera mitad del siglo XVIII —en que se explicaron las fuerzas eléctricas como resultado de efluvios emitidos por un cuerpo cargado—, en casi toda investigación experimental de la ley de la fuerza había que colocar un cuerpo cargado, a una distancia medible, debajo de los platillos de una balanza, para luego medir el peso que había que colocar en el otro platillo a fin de vencer la atracción. Con este arreglo, la atracción varía con la distancia de una manera no simple. Además, la forma compleja en que lo hace depende críticamente del tamaño y del material del platillo atraído. Por eso, muchos de los hombres que aplicaron esta técnica terminaron por renunciar a la tarea; otros sugirieron varias leyes que incluían tanto el cuadrado como la primera potencia inversos; la medición había resultado totalmente equívoca. Sin embargo, eso no tenía por qué ser así. Lo que hacía falta, y que se fue adquiriendo poco a poco a partir de más investigaciones cualitativas realizadas a mediados del siglo, era un enfoque más "newtoniano" al análisis de los fenómenos eléctricos y magnéticos.[29] A medida que se desarrolló este trabajo, los experimentalistas comenzaron a buscar cada vez más no la atracción entre cuerpos sino entre polos y cargas puntuales. En esa forma se resolvió, rápida e inequívocamente, el problema experimental.

Esta ilustración muestra la gran cantidad de teoría que es necesaria antes de que pueda esperarse que adquieran sentido los resultados de la medición. Pero, y quizá éste sea el punto principal, cuando existe ya esa gran cantidad de teoría, es muy probable que se haya conjeturado la ley sin medición. En particular, el resultado de Coulomb parece haber sorprendido a pocos científicos. Aunque sus mediciones fueron

[28] Se encontrará mucho material pertinente en Duane Roller y Duane H. D. Roller, *The Development of the Concept of Electric Charge: Electricity from the Greeks to Coulomb*, Harvard Case Histories in Experimental Science, case 8 (Cambridge, Mass., 1954), y en Wolf, *Eighteenth Century*, pp. 239-250, 268-271.

[29] En una relación más completa, se tendrían que describir como "newtonianos" tanto los primeros como los últimos enfoques. La idea de que la fuerza eléctrica resulta de efluvios es en parte cartesiana, pero, en el siglo XVIII, su *locus-classicus* fue la teoría del éter desarrollada en la *Óptica* de Newton. El enfoque de Coulomb y también el de varios de sus contemporáneos dependen mucho más directamente de la teoría matemática de los *Principia* de Newton. Sobre las diferencias que hay entre estos libros, su influencia en el siglo XVIII y su efecto en el desarrollo de la teoría de la electricidad, véase I. B. Cohen, *Franklin and Newton: An Inquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (Filadelfia, 1956).

necesarias para lograr un consenso firme acerca de las atracciones eléctricas y magnéticas —tuvieron que hacerse tales mediciones, pues la ciencia no puede sobrevivir a base de conjeturas—, muchos científicos ya habían llegado a la conclusión de que la ley de la atracción y la repulsión debía ser en relación con el cuadrado inverso. Algunos pensaban así por simple analogía con la ley de la gravitación de Newton; otros, por argumentos teóricos más elaborados; otros más, partiendo de datos equivocados. Hacía mucho que la ley de Coulomb "se sentía en el aire", antes de que su descubridor atacara el problema. De no haber sido así, tal vez Coulomb no habría sido capaz de sonsacarle esa ley a la naturaleza.

Ahora, deben hacerse a un lado dos posibles mal entendidos de mi argumentación. Primero, si lo que acabo de decir es cierto, la naturaleza responde indudablemente a las predisposiciones teóricas del científico que la mide. Pero esto no significa que la naturaleza no responderá a ninguna teoría, ni que siempre responderá mucho. Examinemos de nuevo el ejemplo, históricamente característico, de la relación entre la teoría del calórico y la teoría dinámica del calor. En sus estructuras abstractas, y en las entidades conceptuales que en ellas se suponen, estas dos teorías son absolutamente diferentes y, en realidad, incompatibles. Pero, en los años en que ambas rivalizaron por el favor de la comunidad científica, las predicciones teóricas que pudieron derivarse de ellas fueron casi las mismas.[30] De no haber sido así, la teoría del calórico nunca habría sido un instrumento de investigación profesional tan aceptado, como tampoco habría logrado revelar los problemas mismos que hicieron posible la transición a la teoría dinámica. De ahí que toda medición que, como la de Delaroche y Bérard, "encaje" en una de estas teorías debe "casi encajar" en la otra, y sólo dentro de la dispersión experimental que abarca la frase "casi", la naturaleza resultó ser capaz de responder a la predisposición teórica de quien la medía.

Esa respuesta podría no haber ocurrido con "ninguna teoría". Hay teorías, posibles lógicamente, de, digamos, el calor, que ningún científico sensato podría haber hecho encajar en la naturaleza, y hay problemas, principalmente filosóficos, que hacen que valga la pena inventar y examinar teorías de esa índole. Pero éste no es nuestro problema, pues esas teorías meramente "concebibles" no figuran entre las opciones abiertas al científico profesional. Su interés

[30] Kuhn, "The Caloric Theory of Adiabatic Compression".

está dirigido a las teorías que parecen encajar con lo que se sabe acerca de la naturaleza, y todas estas teorías, por diferentes que sean en su estructura, parecerán producir, necesariamente, resultados predictivos muy semejantes. Si es posible distinguirlas mediante mediciones, éstas, de ordinario, violentarán los límites de las técnicas experimentales existentes. Además, dentro de los límites impuestos por esas técnicas, las diferencias numéricas en cuestión resultarán ser, muy a menudo, bastante pequeñas. Sólo en estas condiciones y dentro de estos límites, puede esperarse que la naturaleza responda a las ideas preconcebidas. Por otro lado, estas condiciones y límites son precisamente los característicos de la situación histórica.

Si he logrado aclarar esta parte de mi argumentación, podré tratar más fácilmente otro posible mal entendido. Al insistir en que es condición indispensable un cuerpo de teoría muy desarrollado para realizar mediciones fructíferas en la física, parece que quiero decir que en esta ciencia la teoría debe conducir siempre al experimento y que el papel de éste es, definitivamente, secundario. Pero tal implicación depende de identificar "experimento" con "medición", identificación que ya reprobé explícitamente. Sólo porque la comparación cuantitativa de teorías con la naturaleza llega en una etapa tan tardía del desarrollo de una ciencia es que la teoría parece ser una guía decisiva. Si hubiésemos hablado de la experimentación *cualitativa* que domina las primeras etapas del desarrollo de una ciencia natural, y que de ahí en adelante continúa desempeñando un papel importante, el resultado habría sido muy diferente. Quizá aun entonces no hubiésemos querido decir que el experimento es anterior a la teoría —aunque seguramente sí lo es la experiencia—, pero ciertamente habríamos encontrado mucho más simetría y continuidad en el diálogo que se da entre uno y otra. Muy pocas de mis conclusiones sobre el papel de la medición en la física pueden extrapolarse fácilmente a la experimentación en su conjunto.

MEDICIÓN EXTRAORDINARIA

Hasta este punto, he restringido mi atención a la función de la medición en la práctica normal de las ciencias naturales, esa clase de práctica a la que están dedicados principalmente todos los científicos y a la que la mayoría se dedica siempre. Pero las ciencias naturales muestran también situaciones anormales —épocas en que los proyec-

tos de investigación van repetidamente por mal camino y en que las técnicas acostumbradas parecen no bastar para reencauzarlos—, y es en estas raras situaciones cuando la medición demuestra sus mayores poderes. En particular, en los estados anormales de la investigación científica es cuando la medición viene a desempeñar, ocasionalmente, el papel principal en el descubrimiento y en la confirmación.

Ante todo, permítaseme esclarecer lo que quiero decir con "situación anormal" o con lo que en otro lugar llamé "estado de crisis"[31]. Ya indiqué que es una respuesta que una parte de la comunidad científica da a su conciencia de una anomalía en la relación, de ordinario concordante, entre la teoría y el experimento. Pero, aclarémoslo, no es una respuesta producida por todas y cada una de las anomalías. Como señalé en las páginas anteriores, en la práctica científica ordinaria siempre se dan incontables discrepancias entre la teoría y el experimento. En el curso de su carrera, todo profesional de las ciencias naturales nota y *pasa por alto*, una y otra vez, anomalías cualitativas y cuantitativas que, si persistiesen, producirían, concebiblemente, descubrimientos fundamentales. Discrepancias aisladas con este potencial ocurren con tanta regularidad, que ningún científico terminaría sus problemas de investigación si se detuviera a reducirlas. En todo caso, la experiencia ha demostrado repetidamente que, en proporción abrumadora, estas discrepancias desaparecen luego de una observación detenida. Puede resultar que sean efectos de los instrumentos, o de aproximaciones no notadas antes en la teoría; o, sencilla y misteriosamente, pueden dejar de ocurrir cuando el experimento se repite en condiciones ligeramente distintas. Más a menudo, el procedimiento eficaz para reducirlas consiste, pues, en decidir que el problema se ha "arranciado", que presenta complejidades ocultas, y que es tiempo de hacerlo a un lado para pasar a otro. Afortunada o desgraciadamente, éste es un buen procedimiento científico.

Pero las anomalías no siempre se hacen a un lado, y desde luego nunca debiera hacerse tal cosa. Si el efecto es particularmente grande, comparado con mediciones bien establecidas de "concordancia razonable", aplicable a problemas semejantes, o si parece asemejarse a otras dificultades encontradas antes, repetidas veces; o si, por razones especiales, intriga al experimentador, entonces probablemente se le dedicará un proyecto de investigación especial.[32] En ese punto, es

[31] Véase nota 3.

[32] Un ejemplo reciente de los factores que determinan el estudio de una anomalía hasta sus últimas consecuencias es el investigado por Bernard Barber y Renée C. Fox,

posible que la discrepancia se desvanezca con sólo un ajuste de la teoría o del instrumental; como hemos visto, pocas anomalías se resisten largo tiempo. Pero quizá ésta resista y, de ser así, podemos encontrarnos al principio de una "crisis" o de una "situación anormal" que afectan a quienes trabajan en el campo de investigación en el que continúa presentándose la discrepancia. Estos científicos, habiendo agotado todos los recursos acostumbrados de aproximación e instrumentación, pueden verse forzados a reconocer que algo anda mal, y de acuerdo con ello cambiará su conducta de científicos. En estas condiciones, en grado mucho mayor que en cualesquier otras, el científico empezará a investigar al azar, ensayando todo lo que, según él, tenga posibilidades de esclarecer la naturaleza de su dificultad. En caso de que aun así persista la dificultad, el científico y sus colegas quizá empiecen a preguntarse si no estará equivocada, íntegramente, la manera de enfocar el ahora problemático conjunto de fenómenos naturales.

Ésta es, desde luego, una descripción demasiado condensada y esquemática. Por desgracia, tendrá que quedar así, pues la anatomía del estado de crisis dentro de las ciencias naturales rebasa los alcances de este artículo. Sólo comentaré que los alcances de estas crisis varían grandemente; pueden presentarse y ser resueltas dentro del trabajo de un individuo; más a menudo, envuelven a la mayoría de los que trabajan en una especialidad científica dada; ocasionalmente, abarcan a la mayoría de los miembros de toda una profesión científica. Pero, independientemente de la forma en que se propaguen sus efectos, hay sólo unas cuantas maneras de resolver las crisis. A veces, como ha ocurrido en la química y en la astronomía, con técnicas experimentales perfeccionadas o con escrutinio a fondo de las aproximaciones teóricas se eliminará por completo la discrepancia. En otras ocasiones, aunque creo que no muy a menudo, la discrepancia que se ha resistido repetidamente al análisis es sencillamente abandonada como anomalía conocida, enquistada dentro del cuerpo de las aplicaciones fructíferas de la teoría. El valor teórico de los trabajos de Newton relativos a la velocidad del sonido y a la precisión observada del perihelio de Mercurio son claros ejemplos de efectos que, aunque ya explicados desde entonces, quedaron en la literatura científica como anomalías conocidas durante medio siglo o más. Pero existen aún otras clases de

"The Case of the Floppy-Eared Rabbits: An Instance of Serendipity Gained and Serendipity Lost", *American Sociological Review*, 64 (1958): 128-136.

soluciones, y son éstas las que les dan a las crisis científicas su importancia fundamental. Frecuentemente, se resuelven las crisis por el descubrimiento de un nuevo fenómeno natural; ocasionalmente, la solución exige una revisión básica de las teorías existentes.

Obviamente, la crisis no es una condición previa para que, en las ciencias naturales, ocurran los descubrimientos. Ya hicimos notar que algunos descubrimientos, como las leyes de Boyle y de Coulomb, surgen con facilidad como la especificación cuantitativa de lo que ya se conoce cualitativamente. Muchos otros descubrimientos, las más de las veces cualitativos, resultan de la exploración preliminar con un instrumento nuevo, por ejemplo, el telescopio, la pila eléctrica o el ciclotrón. Hay, además, los famosos, "descubrimientos accidentales": Galvani y las contracciones de las patas de la rana, Roentgen y los rayos X, Becquerel y las placas fotográficas veladas. Pero las dos últimas categorías de descubrimientos no son siempre independientes de las crisis. Es probable que sea la capacidad de reconocer una anomalía significativa en contra del telón de fondo de la teoría ordinaria lo que distinga precisamente a la víctima afortunada de un "accidente", de sus contemporáneos que no logran advertir el mismo fenómeno. (¿No cabe esto dentro de la famosa frase de Pasteur de que "En los campos de la observación, el azar favorece únicamente a las mentes preparadas"?)[33] Al mismo tiempo, las nuevas técnicas instrumentales que multiplican los descubrimientos son a menudo productos secundarios de las crisis. La invención de la pila eléctrica, realizada por Volta, fue, por ejemplo, resultado de un largo intento por asimilar las observaciones de Galvani, de las contracciones de las patas de la rana, a las teorías de la electricidad que prevalecían en aquella época. Y, por encima de estos casos un tanto cuestionables, hay gran número de descubrimientos que son, muy claramente, el resultado de una crisis. El descubrimiento del planeta Neptuno fue producto de un esfuerzo por explicar las anomalías conocidas de la órbita de Urano.[34] La naturaleza del cloro y del monóxido de carbono se descubrió tras de los intentos por reconciliar con las observaciones la nueva química de Lavoisier.[35] El descubrimiento de los llamados gases nobles fue producto de una larga serie de investigaciones, iniciada a raíz de la

[33] Del discurso de recepción de Pasteur pronunciado en Lille en 1854, citado en René Vallery-Radot, *La Vie de Pasteur* (París 1903), p. 88.

[34] Angus Armitage, *A Century of Astronomy* (Londres, 1950), pp. 111-115.

[35] Acerca del cloro, véase Ernst von Meyer, *A History of Chemistry from the Earliest Times to the Present Day*, trad. al inglés de G. M'Gowan (Londres, 1891), pp. 224-227. Sobre el

presencia de una anomalía, pequeña pero persistente, en la densidad medida del nitrógeno.[36] Se propuso el electrón para explicar algunas propiedades anómalas de la conducción eléctrica a través de gases, y su *espín*, para explicar otras clases de anomalías observadas en los espectros atómicos.[37] El descubrimiento del neutrino es un ejemplo más todavía; y así podría extenderse indefinidamente la lista.[38]

No sé qué lugar ocuparían estos descubrimientos surgidos de anomalías dentro de una investigación estadística del descubrimiento en las ciencias naturales.[39] Son, desde luego, muy importantes, y por ello exigen que se les destaque con toda claridad en este artículo. Tanto la medición como las técnicas cuantitativas desempeñan un papel de particular importancia en el descubrimiento científico; y esto es así, precisamente, porque sirven para que se manifiesten las anomalías serias, y les dicen a los científicos cuándo y en dónde buscar un nuevo fenómeno cualitativo. Usualmente, no dan indicios sobre la naturaleza de ese fenómeno. Cuando la medición se aparta de la teoría, lo más probable es que el resultado sea de puros números, y la neutralidad intrínseca de éstos los hace estériles como fuente de ideas para hallar el remedio. Pero los números registran el alejamiento de la teoría, con tal autoridad y finura que no puede reproducir ninguna técnica cualitativa, y ese alejamiento basta para iniciar una investigación. Neptuno,

monóxido de carbono, véase J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2ª ed., pp. 113-116, 140-141; y J. R. Partington y D. McKie, "Historical Studies of the Phlogiston Theory: IV. Last Phases of the Theory", *Annals of Science*, 4 (1939): 365.

[36] Véase nota 7.

[37] Para estudios útiles de los experimentos que culminaron en el descubrimiento del electrón, véase T. W. Chalmers, *History Researches: Chapters in the History of Physical and Chemical Discovery* (Londres, 1949), pp. 187-217, y J. J. Thomson, *Recollections and Reflections* (Nueva York, 1937), pp. 325-371. Sobre el *espín* del electrón, véase F. K. Richtmeyer, E. H. Kennard y T. Lauritsen, *Introduction to Modern Physics*, 5ª ed. (Nueva York, 1955), p. 212.

[38] Rogers D. Rusk, *Introduction to Atomic and Nuclear Physics* (Nueva York, 1958), pp. 328-330. No conozco ningún estudio elemental y lo bastante reciente como para que contenga la descripción de la detección física del neutrino.

[39] Como la atención científica se concentra a menudo en problemas que parecen presentar anomalías, el acaecimiento de descubrimientos mediante anomalías puede ser una de las razones del acaecimiento del descubrimiento simultáneo en las ciencias. Para pruebas de que esto no es lo único, véase T. S. Kuhn, "Conservation of Energy as an Example of Simultaneous Discovery", *Critical Problems in the History of Science*, Marshall Clagett, compilador (Madison, 1959), pp. 321-356, pero nótese que mucho de lo que aquí se dice sobre el surgimiento de los "procesos de conversión" describe también la evolución del estado de crisis.

como Urano, había sido descubierto por observación accidental; de hecho, lo habían visto ya unos cuantos observadores que lo tomaron por una estrella no registrada antes. Lo que fue necesario para concentrar en él la atención y para que su descubrimiento fuese tan inevitable como serían los acontecimientos históricos fue que se introdujo, como fuente de problemas, en las observaciones cuantitativas y en la teoría de aquel entonces. Es difícil pensar de qué otra manera podrían haberse descubierto el *espín* del electrón o el neutrino.

La argumentación relativa a las crisis y a la medición se robustece tan pronto como pasamos del descubrimiento de fenómenos naturales a la invención de nuevas teorías fundamentales. No obstante que puedan ser inescrutables las fuentes de la inspiración teórica del individuo —ciertamente así quedarán en este artículo—, las condiciones en las que ocurre la inspiración no lo son. No sé de ninguna innovación teórica, dentro de las ciencias naturales, cuya enunciación no haya estado precedida por el reconocimiento claro, a menudo compartido por la mayoría de los miembros de la especialidad, de que algo estaba ocurriendo con la teoría prevaleciente. Antes de que Copérnico diese a conocer su trabajo, dentro de la especialidad, pocos ignoraban el estado de desastre de la astronomía tolomaica.[40] Las contribuciones al estudio del movimiento, efectuadas por Galileo y Newton, se concentraron inicialmente en las dificultades descubiertas en una teoría antigua y medieval.[41] La nueva teoría de Newton, sobre la luz y el color, se originó en el descubrimiento de que la teoría existente no explicaba la longitud del espectro, y la teoría ondulatoria, que sustituyó a la de Newton, fue publicada en una época de interés creciente por las anomalías que se estaban observando, respecto a la teoría de Newton, en el dominio de la difracción y la polarización de la luz.[42] La nueva química de Lavoisier nació después de la observación de relaciones de peso anómalas durante la combustión; la termodinámica, de la colisión de dos teorías físicas existentes en el siglo XIX; la

[40] Kuhn, *Copernican Revolution*, pp. 138-140, 270-271; A. R. Hall, *The Scientific Revolution, 1500-1800* (Londres, 1954), pp. 13-17. Nótese especialmente el papel de la agitación por la reforma del calendario como intensificador de la crisis.

[41] Kuhn, *Copernican Revolution*, pp. 237-260; y notas bibliográficas de las pp. 290-291.

[42] Acerca de Newton, véase T. S. Kuhn, "Newton's Optical Papers", en *Isaac Newton's Papers and Letters on Natural Philosophy*, I. B. Cohen, compilador (Cambridge, Mass., 1958), pp. 27-45. Sobre la teoría ondulatoria, véase E. T. Whittaker, *History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. 1, *The Classical Theories*, 2ª ed. (Londres, 1951), pp. 94-109, y Whewell, *Inductive Sciences*, 2:396-466. En estas obras se bosqueja claramente la crisis que caracterizó a la óptica cuando Fresnel comenzó a desarrollar independien-

mecánica cuántica, de toda una variedad de dificultades en torno de la radiación del cuerpo negro, el calor específico y el efecto fotoeléctrico.[43] Ademas, aunque éste no es el lugar adecuado para demostrarlo, cada una de esas dificultades, salvo la de naturaleza óptica observada por Newton, era una fuente de interés desde antes —pero por lo regular no demasiado antes— de que la teoría que las resolvió fuera anunciada.

temente la teoría ondulatoria, después de 1812. Pero muy poco es lo que dicen sobre los acontecimientos ocurridos en el siglo XVIII e indicativos de una crisis previa a la primera defensa que hizo Young de la teoría ondulatoria en 1801 y después. De hecho, no se ve claramente que había una crisis o, por lo menos, una nueva. La teoría corpuscular de la luz, de Newton, nunca había gozado de aceptación general, y cuando Young empezó a oponerse a ella lo hizo basándose enteramente en anomalías reconocidas y a veces ya explotadas. Tenemos que sacar la conclusión de que el siglo XVIII se caracterizó por una crisis de bajo nivel en la óptica, pues la teoría predominante nunca fue inmune a críticas y ataques dirigidos a sus aspectos fundamentales.

Esto debiera bastar para apoyar el punto que trato de exponer aquí, pero sospecho que sólo con un estudio cuidadoso de la literatura del siglo XVIII relativa a la óptica podremos sacar una conclusión más sostenible. Un simple vistazo a esa literatura sugiere ya que las anomalías de la óptica de Newton fueron mucho más evidentes y apremiantes que nunca en las dos décadas previas al trabajo de Young. En la década de 1780, la existencia de lentes y prismas condujo a numerosas proposiciones para la determinación astronómica del movimiento relativo del Sol y las estrellas. (Las referencias que hay en Whittaker, *Aether and Electricity,* 1:109, llevan directamente hacia una literatura mucho más extensa.) Pero todas éstas dependían de que el movimiento de la luz fuera mucho más rápido en el cristal que en el aire, y por tanto dieron nueva relevancia a una antigua controversia. L'Abbé Haüy demostró experimentalmente ("Sur la double réfraction du Spath d'Islande", *Memoires de l'Academie,* 1788, pp. 34-60) que la teoría ondulatoria aplicada por Huyghens a la doble refracción arrojaba mejores resultados que la teoría corpuscular de Newton. El problema resultante trajo consigo el premio ofrecido por la Academia Francesa en 1808, y luego el descubrimiento de Malus de la polarización por reflexión, ocurrido en el mismo año. Las *Philosophical Transactions* de 1796, 1797 y 1798 contienen una serie de artículos, dos de Brougham y uno de Prevost, que muestran otras dificultades más que entraña la óptica de Newton. Según Prevost, en particular, las clases de fuerzas que deben ejercerse sobre la luz en una superficie, para explicar la reflexión y la refracción no son compatibles con las clases de fuerzas necesarias para explicar la inflexión *(Philosophical Transactions,* 84 [1798]: 325-328. Los biógrafos de Young debieran prestarle más atención a los dos artículos de Brougham contenidos en los volúmenes citados. Tales biógrafos muestran un compromiso intelectual que recorre un largo camino para explicar el vitriólico ataque de Brougham a Young, en las páginas de la *Edinburgh Review).*

[43] Richtmeyer, Kennard y Lauritsen, *Modern Physics,* pp. 89-94, 124-132 y 409-414. Una descripción más elemental del problema del cuerpo negro y del efecto fotoeléctrico es la contenida en Gerald Holton, *Introduction to Concepts and Theories in Physical Science* (Cambridge, Mass., 1953), pp. 528-545.

Sugiero, por lo tanto, que aunque una crisis o "situación anormal" sea tan sólo una de las rutas hacia el *descubrimiento* en las ciencias naturales, es condición previa para las *invenciones fundamentales de la teoría*. Además, sospecho que en la producción de la crisis, particularmente profunda, que suele preceder a la innovación teórica, la medición hace una de sus dos contribuciones más importantes para el avance científico. La mayoría de las anomalías aisladas en el párrafo precedente fue de índole cuantitativa o tuvo un componente cuantitativo de especial importancia y, aunque este asunto nos lleva más allá de los límites de este ensayo, hay una excelente razón de que tal haya sido el caso.

A diferencia de los descubrimientos de fenómenos naturales nuevos, las innovaciones dentro de la teoría científica no son simples agregados a una suma de lo que ya se sabe. Casi siempre —invariablemente en las ciencias maduras—, la aceptación de una teoría nueva exige el rechazo de otra anterior. En el dominio de la teoría, la innovación es, pues, necesariamente, tan destructiva como constructiva. Pero, como en las páginas anteriores se ha indicado repetidas veces, las teorías son, incluso más que los instrumentos de laboratorio, los instrumentos esenciales del trabajo científico. Sin su auxilio constante, aun las observaciones y las mediciones hechas por el científico apenas si serían de naturaleza científica. Una amenaza a la teoría es, por consiguiente, una amenaza a la vida de la ciencia, y, aunque el trabajo científico adelanta por entre esa clase de amenazas, el científico, como individuo, se desentiende de ellas siempre que puede hacerlo. En particular, las pasa por alto si su propia práctica lo ha comprometido al empleo de la teoría amenazada.[44] De ahí que las nuevas sugerencias teóricas, destructoras de las antiguas prácticas, raramente surjan sin que haya de por medio una crisis que ya no puede ser contenida.

Ninguna crisis, sin embargo, es tan difícil de reprimir como la que proviene de una anomalía cuantitativa que se ha resistido a todos los esfuerzos de reconciliación acostumbrados. Una vez que se han estabilizado todas las mediciones pertinentes y que se han investigado todas las aproximaciones teóricas, una discrepancia cuantitativa resulta ser

[44] Atestigua este efecto de la experiencia con una teoría la juventud de famosos innovadores, bien conocida pero mal investigada, y así también la manera como los más jóvenes tienden a agruparse en torno de la teoría más nueva. No hace falta citar la afirmación de Planck acerca de este segundo fenómeno. Una versión anterior, pero que expresa el mismo sentir, es la de Darwin, en el capítulo final de *The Origin of Species* (véase la 6ª. ed. [Nueva York, 1889], 2: 295-296).

persistentemente obstaculizadora en un grado tal que pocas anomalías cualitativas podrían igualar. Por su propia naturaleza, las anomalías cualitativas sugieren por lo común modificaciones *ad hoc* de la teoría que servirán para enmascararlas, y una vez sugeridas estas modificaciones poco falta para decir que son "bastante buenas". Por el contrario, una anomalía establecida cuantitativamente no suele sugerir otra cosa que problemas, pero lo bueno de ella es que constituye un instrumento de excepcional finura para juzgar la adecuación de las soluciones propuestas. Viene al caso citar aquí el trabajo de Kepler. Después de prolongada lucha por librar a la astronomía de graves anomalías cuantitativas en el movimiento de Marte, inventó una teoría con una precisión de ocho minutos de arco, medida de la concordancia que hubiese asombrado y deleitado a cualquier astrónomo que no hubiese tenido acceso a las brillantes observaciones de Tycho Brahe. Pero desde tiempo atrás Kepler sabía que las observaciones de Brahe tenían una precisión de cuatro minutos de arco. La bondad divina, decía, nos ha dado al observador más diligente en Tycho Brahe y, por lo tanto, es razonable que, agradecidos, hagamos uso de su singular talento para encontrar los verdaderos movimientos celestes. Luego, Kepler trató de hacer cálculos con figuras no circulares. El resultado de esos ensayos fueron sus dos primeras leyes de movimiento planetario, las cuales hicieron funcionar por vez primera el sistema copernicano.[45]

Con dos breves ejemplos se aclarará la diferencia de eficacia de las anomalías cualitativas y las cuantitativas. Al parecer, Newton llegó a su nueva teoría de la luz y del color observando la sorprendente elongación del espectro solar. Sus opositores indicaron rápidamente que la existencia de la elongación era conocida desde tiempo atrás y que podía ser manejada por medio de la teoría existente. Cualitativamente, tenía razón. Pero, aplicando la ley de la refracción de Snell, de carácter cuantitativo —ley que tenía ya casi tres décadas de existencia—, Newton logró demostrar que la elongación predicha por la teoría existente era cuantitativamente mucho menor que la observada. Con fundamento en esta discrepancia cuantitativa, se derrumbaron todas las explicaciones cualitativas anteriores. Dada la ley cuantitativa de la refracción, quedó garantizada la victoria final y en este caso rápida de Newton.[46] Del desarrollo de la química, se saca otro clarísimo ejemplo.

[45] J. L. E. Dreyer, *A History of Astronomy from Thales to Kepler*, 2ª ed. (Nueva York, 1953), pp. 385-393.

[46] Kuhn, "Newton's Optical Papers", pp. 31-36.

Desde mucho antes de Lavoisier, era bien sabido que algunos metales ganan peso cuando son calcinados —es decir, tostados—. Además, a mediados del siglo XVIII, se reconocía que esta observación cualitativa era incompatible, por lo menos, con las versiones más simples de la teoría de flogisto, según la cual el flogisto *escapaba* del metal durante la calcinación. Pero mientras esta discrepancia fue de índole cualitativa, pudo ser eliminada de diversas maneras: quizá el flogisto tenía peso negativo, o quizá las partículas de fuego se alojaban en el metal calcinado. Hubo otras ideas más, y todas ellas sirvieron para reducir la urgencia del problema cualitativo. Con el desarrollo de las técnicas neumáticas, sin embargo, se transformó la anomalía cualitativa en cuantitativa. En manos de Lavoisier, con tales técnicas se demostró cuánto peso se ganaba y de dónde procedía éste. Estos datos no podían ser manejados con las anteriores teorías cualitativas. Aunque los partidarios del flogisto dieron una batalla vehemente y diestra, y aunque sus argumentos cualitativos fueron muy persuasivos, los argumentos cuantitativos a favor de la teoría de Lavoisier resultaron ser abrumadores.[47]

Se introdujeron esos ejemplos para ilustrar lo difícil que es justificar anomalías cuantitativas establecidas y a fin de demostrar cuánto más eficaces son éstas que las cualitativas para establecer una crisis científica inevitable. Pero esos ejemplos demuestran algo más. Indican que la medición puede ser una arma extraordinariamente poderosa en la batalla entre dos teorías, y que, creo, su segunda función es particularmente significativa. Además, es a esta función —de auxiliar en la elección entre teorías— y a ésta sola, para la que debemos reservar la palabra "confirmación". Esto es, debemos hacerlo si es que el término "confirmación" ha de emplearse para denotar un procedimiento relativo a cualquier cosa que los científicos siempre hacen. Las

[47] Ésta es una simplificación exagerada, ya que la batalla librada entre Lavoisier con su nueva química y sus opositores implicó en realidad algo más que los procesos de combustión y toda la gama de testimonios pertinentes no pueden tratarse sólo en función de la combustión. Relaciones elementales y útiles de las aportaciones de Lavoisier pueden encontrarse en J. B. Conant, *The Overthrow of the Phlogiston Theory*, Harvard Case Histories in Experimental Science, case 2 (Cambridge, Mass., 1950), y D. McKie, *Antoine Lavoisier: Scientist, Economist, Social Reformer* (Nueva York, 1952). Maurice Daumas, *Lavoisier, théoricien et experimentateur* (París, 1955) es la revisión más reciente y erudita. J. H. White, *The Phlogiston Theory* (Londres, 1932) y especialmente J. R. Partington y D. McKie, "Historical Studies of the Phlogiston Theory: IV. Last Phases of the Theory", *Annals of Science*, 4 (1939): 113-149, dan más detalles sobre el conflicto entre la nueva y la vieja teoría.

mediciones que muestran una anomalía y crean así una crisis pueden tentar al científico a dejar la ciencia o a transferir su atención hacia alguna otra parte del campo. Pero, si se queda en donde está, las observaciones anómalas, cuantitativas o cualitativas, no pueden tentarlo a abandonar su teoría *mientras no le sea sugerida otra para remplazarla.* De la misma manera que el carpintero, mientras esté en su oficio, no podrá descartar su caja de herramientas por el solo hecho de que ésta no contenga un martillo que sirva para clavar un tipo determinado de clavos, así también el profesional de la ciencia no puede descartar la teoría establecida sólo porque la encuentra en parte inadecuada. Por lo menos no puede hacerlo mientras no haya otra manera de hacer su trabajo. En la práctica científica, la confirmación real entraña siempre la comparación entre dos teorías y la comparación también entre cada una de éstas y el mundo. No la comparación de sólo una de ellas con el mundo. En estas triples comparaciones, la medición tiene una ventaja en particular.

Para determinar en dónde reside la ventaja de la medición, debo salirme un poco, y por lo mismo dogmáticamente, de los límites de este ensayo. En la transición de la teoría antigua a la nueva, a menudo hay tanto una pérdida como una ganancia de poder explicativo.[48]

La teoría de Newton acerca de los movimientos planetarios y de los proyectiles fue combatida vehementemente durante más de una generación porque, a diferencia de las teorías rivales, exigía la introducción de una fuerza inexplicable que actuaba a distancia pero directamente sobre los cuerpos. La teoría cartesiana, por ejemplo, había tratado de explicar la gravedad en función de colisiones directas entre partículas elementales. Aceptar la teoría de Newton significaba abandonar la posibilidad de toda explicación parecida, o por lo menos así les parecía a la mayoría de los inmediatos sucesores de Newton.[49] Del mismo modo, aunque el detalle histórico es más ambiguo, a la teoría química de Lavoisier se opuso un gran número de científicos que veían a la química privada de una de sus principales funciones tradicionales: la explicación de las propiedades cualitativas de los cuerpos en función de la determinada combinación de "principios" químicos que los

[48] Este punto predomina en la referencia citada en la nota 3. En realidad, lo que hace tan adecuado el describir los cambios de teoría como "evoluciones" es precisamente la necesidad de equilibrar las pérdidas y ganancias, así como las controversias que tan a menudo resultan de los desacuerdos sobre qué es un correcto equilibrio.

[49] Cohen, *Franclin and Newton*, cap. 4; Pierre Brunet, *L'introduction des théories de Newton en France au xviii*[e] *siècle* (París, 1931).

integraban.[50] En cada caso la teoría nueva salió victoriosa, pero el precio de la victoria fue el abandono de una meta antigua y parcialmente alcanzada. Para los newtonianos del siglo XVIII, poco a poco fue volviéndose "acientífico" preguntarse por la causa de la gravedad; los químicos del siglo XIX poco a poco fueron dejando de preguntarse por las causas de las cualidades particulares. Sin embargo, la experiencia ulterior demostró que en tales cuestiones no había nada que fuese *intrínsecamente* "acientífico". La relatividad general sí explica la atracción gravitacional y la mecánica cuántica también explica muchas de las características cualitativas de los cuerpos. Ahora ya sabemos por qué algunos cuerpos son amarillos y otros transparentes. Pero al haber logrado entender esto, que es de suma importancia, en ciertos aspectos hemos tenido que regresar a un antiguo conjunto de nociones acerca de los límites de la investigación científica. Problemas y soluciones que tuvieron que ser abandonados a favor de las teorías clásicas de la ciencia moderna han retornado a nosotros.

Por consiguiente, el estudio de los procedimientos de confirmación, tal y como son practicados en las ciencias, es a menudo el estudio de lo que los científicos retendrán o abandonarán para obtener otras ventajas en particular. Tal problema apenas si ha sido planteado antes, y por lo mismo sólo podría conjeturar qué es lo que se revelaría si fuese investigado totalmente. Pero el estudio superficial sugiere fuertemente una conclusión importante. No sé de ningún caso en el desarrollo de la ciencia que muestre una pérdida de precisión cuantitativa a consecuencia de la transición de una teoría anterior a otra nueva. Tampoco puedo imaginar un debate entre científicos, en el cual, a pesar de lo caldeado de los ánimos, se le llame "acientífica" a la búsqueda de mayor precisión numérica en un campo ya cuantificado. Probablemente por las mismas razones que la hacen de especial eficacia en la producción de crisis científicas, la comparación de predicciones numéricas, *cuando éstas han existido*, ha resultado particu-

[50] Sobre esta tarea tradicional de la química, véase E. Meyerson, *Identity and Reality*, trad. al inglés de K. Lowenberg (Londres, 1930), cap. 10, particularmente pp. 331-336. Abunda, aunque disperso, mucho material esencial en Hélène Metzger, *Les doctrines chimiques en France du début du xvii*[e] *à la fin du xviii*[e] *siècle*, vol. 1 (París, 1923), y *Newton, Stahl, Boerhaave, et la doctrine chimique* (París, 1930). Nótese particularmente que los partidarios del flogisto, que veían en los minerales cuerpos elementales de los cuales se integraban los metales por adición de flogisto, sí podían explicar por qué los metales eran mucho más parecidos entre sí que los minerales de que se componían. Todos los metales poseían en común un principio: el flogisto. Con la teoría de Lavoisier, no era posible tal explicación.

larmente fructífera en resolver controversias científicas. Independientemente del precio que se pague en redefiniciones de la ciencia, sus métodos y sus objetivos, los científicos se han mostrado siempre poco dispuestos a comprometer el éxito numérico de sus teorías. Es de suponer que hay otros anhelos también, pero al mismo tiempo es de sospecharse que, en caso de conflicto, la medición obtendría siempre la victoria.

La medición en el desarrollo de la física

Hasta este punto hemos dado por un hecho que la medición desempeña un papel capital en la física y nos hemos preguntado por la naturaleza de ese papel así como por las razones de su peculiar eficacia. Ahora debemos preguntarnos, aunque sea demasiado tarde como para prever una respuesta comparablemente completa, por la forma en que la física llegó a hacer uso de las técnicas cuantitativas. Para que sea manejable una interrogante tan amplia y llena de hechos, he seleccionado para discutirlas sólo aquellas partes de una respuesta que se relacione íntimamente con lo que ya está dicho.

Una consecuencia recurrente de la discusión anterior es que, normalmente, es condición previa, para una cuantificación fecunda de un campo de investigación dado, una gran cantidad de investigación cualitativa, tanto empírica como teórica. Sin tal trabajo previo, la directriz metodológica "Salgamos a medir" puede resultar tan sólo una invitación a perder el tiempo. Si quedan algunas dudas sobre este punto, se resolverán rápidamente con una breve revisión del papel desempeñado por las técnicas cuantitativas en el surgimiento de las diversas ciencias físicas. Permítaseme preguntar por el papel que tuvieron tales técnicas en la Revolución científica del siglo XVII.

Como, por ahora, toda respuesta debe ser esquemática, comenzaré dividiendo en dos grupos los campos de las ciencias físicas estudiados durante el siglo XVII. El primero, al que llamaré de ciencias tradicionales, consta de la astronomía, la óptica y la mecánica, todos ellos campos que se desarrollaron considerablemente tanto en lo cualitativo como en lo cuantitativo durante la antigüedad y la Edad Media. A estos campos hay que oponer lo que llamaré las ciencias baconianas, nuevo conjunto de campos de investigación que debieron su categoría *de ciencias* a la insistencia característica de los filósofos naturales del siglo XVII en la experimentación y en la compilación de historias naturales, incluidas las historias de los oficios. A ese segundo grupo pertenecen ante todo el estudio del calor, de la electricidad, del

magnetismo y de la química. Sólo esta última había sido muy explorada antes de la Revolución científica, y casi todos quienes la exploraron habían sido artesanos o alquimistas. Si exceptuamos a unos cuantos de los artistas islámicos, el surgimiento de una tradición química, racional y sistemática, no puede darse antes de fines del siglo XVI.[51] El magnetismo, el calor y la electricidad surgieron como campos de estudio independiente más lentamente aún. Con más claridad aún que en el caso de la química, son productos secundarios y nuevos de los elementos baconianos de la "nueva filosofía".[52]

La separación entre ciencias tradicionales y ciencias baconianas brinda una excelente herramienta analítica, pues los hombres que buscan en la Revolución científica ejemplos de medición productiva dentro de la física habrán de encontrarlos solamente en las ciencias del primer grupo. Además, y quizá esto sea lo más revelador, aun en estas ciencias tradicionales fue más eficaz precisamente cuando pudo ser realizada con instrumentos bien conocidos y aplicada a conceptos bastante tradicionales. En la astronomía, por ejemplo, la contribución cuantitativa decisiva fue la versión, ampliada y mejor calibrada, de Tycho Brahe a los instrumentos medievales. El telescopio, novedad característica del siglo XVII, apenas si fue usado cuantitativamente hasta el último tercio del siglo, y ese empleo cuantitativo no ejerció efecto sobre la teoría astronómica hasta que, en 1729, Bradley descubrió la aberración de la luz. Incluso ese descubrimiento fue aislado. Hasta la segunda mitad del siglo XVIII, la astronomía no empezó a aprovechar todos los efectos de los grandes perfeccionamientos de la observación cuantitativa que permitía el telescopio.[53] O, como ya se indicó, los experimentos con el plano inclinado, otra novedad del siglo XVII, no fueron tan exactos como para constituirse en la única fuente de la ley de aceleración uniforme. Lo importante acerca de estos experi-

[51] Boas, *Robert Boyle*, pp. 48-66.

[52] Sobre la electricidad, véase Roller y Roller, *Concept of Electric Charge*, y Edgar Zilsel, "The Origins of William Gilbert's Scientific Method", *Journal of the History of Ideas*, 2 (1941): 1-32. Concuerdo con quienes piensan que Zilsel exagera la importancia de un solo factor en la génesis de la ciencia de la electricidad y, por implicación, del baconianismo; en cambio, no se pueden pasar por alto las influencias del oficio que describe. No hay análisis, igualmente satisfactorio, del desarrollo de la ciencia del calor antes del siglo XVIII, pero Wolf (*Sixteenth and Seventeenth Centuries*, pp. 82-92 y 275-281) ilustra la transformación producida por el baconianismo.

[53] Wolf, *Eighteenth Century*, pp. 102-145, y Whewell, *Inductive Sciences*, 2:213-371. Particularmente en el segundo, nótese la dificultad que hay para distinguir los avances debidos al perfeccionamiento de los instrumentos, de los debidos a las mejoras de la teoría. Tal dificultad no es atribuible al modo como Whewell presenta el asunto.

mentos —los cuales, a su vez, son de importancia crítica— es la idea de que tales mediciones podrían ser pertinentes con respecto de los problemas de la caída libre y del movimiento de los proyectiles. Tal idea implica un cambio fundamental tanto de la concepción del movimiento como de las técnicas pertinentes para analizarlo. Pero, claro está, nunca se habría llegado a tal concepción si muchos de los conceptos subsidiarios, indispensables para explotarla, no hubiesen existido, por lo menos en forma embrionaria, en los trabajos de Arquímedes y en los analistas escolásticos del movimiento.[54] Aquí, de nuevo, la eficacia del trabajo cuantitativo dependió de la existencia de una larga tradición.

Quizá el mejor caso probatorio sea el de la óptica, la tercera de mis ciencias tradicionales. En este campo, durante el siglo XVII, el trabajo cuantitativo real fue hecho tanto con nuevos como con viejos instrumentos, y el realizado con estos últimos en relación con fenómenos bien conocidos resultó ser el más importante. La reformulación de la teoría óptica durante la Revolución científica giró en torno de los experimentos de Newton con el prisma, y para éstos había muchos precedentes cualitativos. La innovación de Newton consistió en el análisis cuantitativo de un efecto cualitativo bien conocido, y ese análisis fue posible sólo por el descubrimiento de las leyes de la refracción, hecho por Snell unas cuantas décadas antes del trabajo de Newton. Esa ley es la novedad cuantitativa vital en la óptica del siglo XVII. Fue, sin embargo, una ley que había sido buscada por toda una pléyade de brillantes investigadores desde la época de Tolomeo, y todos ellos habían empleado aparatos muy semejantes al de Snell. En suma, la investigación que desembocó en la nueva teoría de la luz y el color, de Newton, fue de naturaleza esencialmente tradicional.[55] Pero gran parte de la óptica del siglo XVII no era de ninguna manera tradicional. La interferencia, la difracción y la doble refracción fueron fenómenos descubiertos medio siglo antes de que apareciese la *Óptica* de Newton; todos fueron fenómenos por completo inesperados; y todos fueron fenómenos conocidos por Newton.[56] Newton realizó investigaciones cuantitativas, muy cuidadosas, sobre dos de ellos. Sin embargo, el efecto real de estos fenómenos nuevos sobre la teoría óptica apenas si se dejó sentir hasta el trabajo de Young y Fresnel, un siglo

[54] Sobre el trabajo pregalileano, véase Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), particularmente las partes 2 y 3. Sobre el empleo de este trabajo por Galileo, véase Alexandre Koyré *Études galiléennes*, 3 vols. (París 1939), particularmente los vols. 1 y 2.

[55] A. C. Crombie, *Augustine to Galileo* (Londres, 1952), pp. 70-82, y Wolf, *Sixteenth and Seventeenth Centuries*, pp. 244-254.

[56] Wolf, *Sixteenth and Seventeenth Centuries*, pp. 254-264.

después. Aunque Newton pudo desarrollar una brillante teoría preliminar de los efectos de interferencia, ni él ni sus sucesores inmediatos notaron que esa teoría concordaba con los experimentos cuantitativos únicamente en el caso limitado de la incidencia perpendicular. Las mediciones que hizo Newton de la difracción produjeron tan sólo una teoría en esencia cualitativa, y al parecer ni siquiera se propuso hacer un trabajo cuantitativo sobre la doble refracción. Tanto Newton como Huyghens anunciaron las leyes matemáticas que gobiernan la refracción del rayo extraordinario, y el segundo demostró cómo explicar este comportamiento considerando la expansión de un frente de ondas esferoidales. Pero en ambas exposiciones matemáticas hubo amplias extrapolaciones de datos cuantitativos dispersos de dudosa precisión. Y pasaron casi cien años antes de que, con experimentos cuantitativos, se pudiera hacer una distinción entre estas dos formulaciones matemáticas tan disímiles.[57] Como ocurrió con los demás fenómenos ópticos descubiertos durante la Revolución científica, tuvo que transcurrir casi todo el siglo XVIII para que se realizaran más exploraciones y se mejoraran los instrumentos, condición previa para la explotación cuantitativa.

Volviendo ahora a las ciencias baconianas, que durante toda la Revolución científica poseyeron unos cuantos instrumentos viejos y aún menos conceptos bien establecidos, nos encontramos con que la cuantificación avanzó todavía más lentamente. Aunque el siglo XVII contempló muchos nuevos instrumentos, de los cuales algunos fueron cuantitativos y otros nada más lo fueron potencialmente, sólo el nuevo barómetro reveló regularidades cuantitativas importantes al ser aplicado a nuevos campos de estudio. Incluso el barómetro es tan sólo una excepción aparente, pues la neumática, campo en que fue aplicado, tomó prestados en bloque los conceptos de un campo bastante viejo, la hidrostática. Como dijo Torricelli, el barómetro medía la presión "en el fondo de un océano de aire elemental".[58] En el campo del magne-

[57] Sobre el trabajo del siglo XVII (incluida la construcción geométrica de Huyghens), véase *ibid*. Apenas si se han estudiado las investigaciones de estos fenómenos realizadas en el siglo XVIII, pero sobre lo que se sabe, véase Joseph Priestley, *History. . . of Discoveries relating to Vision, Light, and Colours* (Londres, 1772), pp. 279-316, 498-520, 548-562. Los ejemplos más antiguos que conozco de trabajos precisos sobre la doble refracción son: R. J. Haüy, "Sur la double réfraction du Spath d'Islande" (véase nota 42), y W. H. Wollaston, "On the Oblique Refraction of Iceland Crystal", *Philosophical Transactions*, 92 (1802): 381-386.

[58] Véase I. H. B. y A. G. H. Spiers, *The Physical Treatises of Pascal* (Nueva York, 1937), p. 164. En todo este volumen se muestra cómo la neumática del siglo XVII tomó conceptos de la hidrostática.

tismo, las únicas mediciones significativas realizadas durante el siglo XVII, las de la declinación y la inclinación, fueron hechas con una u otra versión modificada de la brújula tradicional, y estas mediciones contribuyeron muy poco a incrementar la comprensión de los fenómenos magnéticos. Para una cuantificación verdaderamente fundamental, el magnetismo, como la electricidad, tuvo que esperar los trabajos de Coulomb, Gauss, Poisson y otros, realizados a fines del siglo XVIII y principios del XIX. Antes de que pudiera hacerse el trabajo, era necesario tener una mejor comprensión cualitativa de la atracción, la repulsión, la conducción y otros fenómenos conexos. Los instrumentos que produjeron una cuantificación verdadera tuvieron que ser diseñados teniendo en mente estas concepciones cualitativas iniciales.[59] Además, las décadas en las que se logró el éxito final son casi las mismas en las que se produjeron los primeros contactos eficaces entre la medición y la teoría en el estudio de la química y el calor.[60] La cuantificación fructífera de las ciencias baconianas apenas empezaba antes del último tercio del siglo XVIII y no realizó todo su potencial hasta el siglo XIX. Esa realización —ejemplificada por los trabajos de Fourier, Clausius, Kelvin y Maxwell— es una de las facetas de otra revolución científica de no menos consecuencias que la del siglo XVII. Hasta el siglo XIX, las ciencias físicas baconianas no sufrieron la transformación que el conjunto de las ciencias tradicionales había sufrido dos o más siglos antes.

Como el artículo del profesor Guerlac está dedicado a la química, y como ya bosquejé algunos de los obstáculos para cuantificar los fenó-

[59] Sobre la cuantificación y los comienzos de la matematización de la ciencia de la electricidad, véase Roller y Roller, *Concept of Electric Charge*, pp. 66-80; Whittaker, *Aether and Electricity*, 1:53-66; y W. C. Walker, "The Detection and Estimation of Electric Charge in the Eighteenth Century", *Annals of Science*, 1 (1936): 66-100.

[60] Sobre el calor, véase Douglas McKie y N. H. de V. Heathcote, *The Discovery of Specific and Latent Heats* (Londres, 1935). En la química, tal vez sea imposible datar los "primeros contactos eficaces entre la medición y la teoría". Las mediciones volumétricas o gravimétricas intervinieron siempre en el ensayo de muestras y en la preparación de recetas. Hacia el siglo XVII, por ejemplo en el trabajo de Boyle, la ganancia o la pérdida de peso sirvieron frecuentemente de indicio en el análisis teórico de determinadas reacciones. Pero, hasta mediados del siglo XVIII, la significación de las mediciones químicas pareció ser siempre descriptiva (como en las recetas) o cualitativa (como en la demostración de una ganancia de peso sin referencia significativa a su magnitud). Sólo en los trabajos de Black, Lavoisier y Richter la medición comienza a desempeñar una función cabalmente cuantitativa en el desarrollo de las leyes y teorías químicas. Sobre una introducción a la vida y obra de los citados, véase J. R. Partington, *A Short History of Chemistry*, 2ª ed., pp. 93-97, 122-128 y 161-163.

menos eléctricos y los magnéticos, mi único ejemplo extenso lo tomaré del estudio del calor. Por desgracia, gran parte de la investigación que debiera basarse en tal bosquejo está por hacerse todavía. Lo que sigue es por fuerza más provisorio que todo lo anterior.

Muchos de los primeros experimentos en que se emplearon termómetros fueron en realidad investigaciones *de* este nuevo instrumento, antes que investigaciones *con* él. ¿Podría haber sido otro el caso durante un periodo en que no estaba del todo claro lo que el termómetro medía? Sus lecturas dependían obviamente del "grado de calor", pero al parecer esa dependencia era sumamente compleja. El "grado de calor" durante mucho tiempo se definió por medio de los órganos de los sentidos, y éstos respondían de modos muy diferentes a cuerpos que producían las mismas lecturas termométricas. Antes de que el termómetro pasara de objeto de experimentación a instrumento de laboratorio, la lectura termométrica tenía que verse como la medida directa del "grado de calor", y la sensación tenía que considerarse al mismo tiempo un fenómeno complejo y equívoco que dependía de diversos parámetros.[61]

Por lo menos en unos cuantos círculos científicos, esa reorientación parece haber concluido a fines del siglo XVII, pero no fue seguida del rápido descubrimiento de regularidades cuantitativas. Al principio, los científicos se encontraron con que el "grado de calor" podía bifurcarse en "cantidad de calor" y "temperatura". Además, de la inmensa multitud de fenómenos térmicos, tuvieron que elegir para estudiarlos detenidamente los que más se prestaban para revelar leyes cuantitativas. Éstos resultaron ser dos: mezclar dos componentes de un solo fluido al principio a temperaturas diferentes, y calor radiante de dos fluidos diferentes en recipientes idénticos. Pero, incluso cuando la atención se concentró en estos fenómenos, los científicos no obtuvieron resultados inequívocos ni uniformes. Como lo demostraron brillantemente Heathcote y McKie, en las últimas etapas del desarrollo de los conceptos de calor específico y calor latente, hubo hipótesis intuitivas que interactuaban constantemente con la obstinada medi-

[61] Maurice Daumas (*Les instruments scientifiques aux xvii*^e^ *et xviii*^e^ *siècles* [París, 1953], pp. 78-80) da una relación, breve y excelente, de la primera época del empleo del termómetro como instrumento científico. Robert Boyle, en *New Experiments and Observations Touching Cold*, ilustra la necesidad, surgida en el siglo XVII, de demostrar que los termómetros construidos debidamente deben remplazar a los sentidos en las mediciones térmicas, aunque se obtengan de ambos resultados diferentes. Véase *Works of the Honourable Robert Boyle*, T. Birch, compilador, 5 vols. (Londres, 1744), 2:240-243.

ción, cada una de ellas forzando a la otra.[62] Hicieron falta aún otras clases de trabajo antes de que las contribuciones de Laplace, Poisson y Fourier transformasen el estudio de los fenómenos térmicos en una rama de la física matemática.[63]

Esta pauta, reiterada tanto en las demás ciencias baconianas como en la extensión de las ciencias tradicionales a nuevos instrumentos y nuevos fenómenos, da una ilustración más de la tesis más persistente en este artículo. *El camino de la ley científica a la medición científica rara vez puede recorrerse en sentido inverso.* Para descubrir una regularidad cuantitativa, normalmente debe uno conocer qué regularidad está buscando y el instrumento empleado para encontrarla debe estar diseñado correspondientemente. Aun entonces, la naturaleza quizá no entregue sin fuerte lucha resultados faltos de contradicción o generalizables. Esto es en lo que respecta a mi tesis principal. Sin embargo, los anteriores comentarios acerca de la forma en que la cuantificación ingresó en la física moderna deben llevar también a la tesis menor de este artículo, pues tales comentarios vuelcan la atención hacia la inmensa eficacia de la experimentación cuantitativa realizada dentro del contexto de una teoría completamente matematizada. En algún momento entre 1800 y 1850, hubo un cambio importante en el carácter de la investigación correspondiente a muchas de las ciencias naturales, particularmente en el conjunto de campos de investigación conocido como la física. Tal cambio es lo que me hace llamarle a la matematización de la física baconiana una faceta de otra revolución científica.

Sería absurdo pretender que esa matematización haya sido algo más que una faceta. La primera mitad del siglo XIX presenció también un vasto incremento de la escala de la empresa científica, grandes cambios en las pautas de la organización científica, y una reconstrucción total de la educación científica.[64] Pero estos cambios afectaron a todas

[62] Sobre la formación de los conceptos de calorimetría, véase E. Mach, *Die Principien der Wärmelehre* (Leipzig, 1919), pp. 153-181, y McKie y Hethcote, *Specific and Latent Heats.* El análisis del trabajo de Krafft en la segunda obra da un ejemplo notable de los problemas que entrañan las tareas de medición.

[63] Gaston Bachelard, *Étude sur l'evolution d'un problème de physique* (París, 1928). y Kuhn, "Caloric Theory of Adiabatic Compression".

[64] S. F. Mason (*Main Currents of Scientific Thought* [Nueva York, 1956], pp. 352-363) bosqueja breve y claramente estos cambios institucionales. Más material sobre el mismo asunto se encuentra disperso en J. T. Merz, *History of European Thought in the Nineteenth Century*, vol. 1 (Londres, 1923).

las ciencias casi de la misma manera. Y no debieran explicar las características que diferencian a las ciencias recién matematizadas del siglo XIX, de las demás ciencias del mismo periodo. Aunque mis fuentes son por ahora impresionistas, estoy completamente seguro de que existen tales características. Permítaseme arriesgar la siguiente predicción. La investigación analítica, en parte la estadística, debiera demostrar que los físicos, en conjunto, han manifestado, aproximadamente desde 1840, una mayor capacidad para concentrarse en unas cuantas áreas clave de investigación, que sus colegas de los campos no del todo cuantificados. De estar en lo cierto, en el mismo periodo resultaría que los físicos habrían tenido más éxito que los demás científicos de disminuir la magnitud de las controversias sobre las teorías científicas y en aumentar la fuerza del consenso que surgió de tales controversias. En suma, creo que la matematización de la física, realizada en el siglo XIX, produjo criterios profesionales, de lo más refinado, aplicables a la selección de problemas, y que, al mismo tiempo, aumentó muchísimo la eficacia de los procedimientos de verificación profesionales.[65] Desde luego, éstos son precisamente los cambios que nos haría esperar lo expuesto en la sección precedente. La prueba de fuego de estas conclusiones sería el análisis crítico y comparativo del desarrollo de la física durante los últimos ciento veinticinco años.

Mientras no se haga tal prueba, ¿qué conclusiones podríamos sacar? Aventuraré la siguiente paradoja: la cuantificación total e íntima de toda ciencia es una consumación que se desea devotamente. Sin embargo, no es una consumación que pueda buscarse de manera eficaz por medio de la medición. Como en el desarrollo individual, igual que en el del grupo científico, la madurez llega con más seguridad a quienes saben esperar.

APÉNDICE

Reflexionando sobre los demás artículos y sobre la discusión que continuó durante toda la conferencia, me parece que vale la pena hablar de otros dos puntos que se refirieron a mi propio artículo.

[65] Para un ejemplo de la selección correcta del problema, nótense las discrepancias cuantitativas y esotéricas que sirvieron para aislar los tres problemas —el del efecto fotoeléctrico, la radiación del cuerpo negro y los calores específicos— que dieron lugar a la mecánica cuántica. Sobre la eficacia nueva de los procedimientos de verificación, nótese la rapidez con que la profesión adoptó esta teoría nueva y radical.

Indudablemente hubo otros más, pero mi memoria ha dado muestras de ser poco digna de confianza. El profesor Price fue quien tocó el primer punto el cual dio lugar a una larga discusión. El segundo surgió de una digresión del profesor Spengler, y consideraré primero las consecuencias del segundo.

El profesor Spengler expresó gran interés por mi concepto de "crisis" en el desarrollo de una ciencia o de una especialidad científica, pero agregó que le había sido muy difícil descubrir más de uno de estos episodios en el desarrollo de la economía. Esto me llevó a la cuestión perenne, pero quizá no muy importante, de si las ciencias sociales son en realidad ciencias. Aunque no trataré de responder directamente a esto, tal vez se aclare un poco el problema con unos cuantos comentarios sobre la posible falta de crisis en el desarrollo de una ciencia social.

Como expuse en la sección de medición extraordinaria, el concepto de crisis implica que dentro del grupo que la experimenta había antes unanimidad. Por definición, las anomalías existen tan sólo con respecto a expectativas establecidas en forma sólida. Los experimentos que recurrentemente salen mal pueden producir una crisis sólo en un grupo que con anterioridad haya trabajado de tal manera que todo le sale bien. Ahora, como en mis secciones anteriores debiera verse claramente, en las ciencias físicas maduras, la mayoría de las cosas, por lo general, va bien. Por consiguiente, la comunidad profesional en su totalidad puede estar de acuerdo acerca de los conceptos fundamentales, los instrumentos y los problemas de su ciencia. Sin ese consenso profesional, no habría bases para esa actividad como de armar rompecabezas o resolver acertijos en que, como ya lo hice destacar, se encuentra trabajando normalmente la mayoría de los físicos. En la física, el desacuerdo en torno de los fundamentos está, como la búsqueda de innovaciones básicas, reservado para los periodos de crisis.[66] Lo que ya no es tan claro, sin embargo, es que un consenso de fuerza y alcance semejantes caracterice de ordinario a las ciencias sociales. La experiencia con mis colegas de la universidad y el afortunado año que pasé en el Centro de Estudios Avanzados de Ciencias Conductuales me indican que la concordancia fundamental

[66] Describí otras concomitancias significativas de este consenso profesional en mi artículo "The Essential Tension: Tradition and Innovation in Scientific Research", en Calvin W. Taylor, compilador, *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Creative Scientific Talent* (Salt Lake City, 1959), pp. 162-177.

que, por ejemplo entre los físicos, normalmente puede darse por descontada apenas ha comenzado a surgir en unas cuantas áreas de la investigación en ciencias sociales. La mayoría de las otras áreas se sigue caracterizando todavía por desacuerdos fundamentales acerca de la definición del campo, sus logros ejemplares y sus problemas. Mientras prevalezca esa situación —como ocurrió en los primeros periodos del desarrollo de las varias ciencias naturales—, probablemente no sobrevendrá ninguna crisis.

El punto del profesor Price fue muy diferente y más bien de carácter histórico. Sugirió, creo yo correctamente, que mi epílogo histórico no llamaba la atención hacia un cambio muy importante en la actitud de los físicos hacia la medición, el cual ocurrió durante la Revolución científica. Al comentar el artículo del doctor Crombie, Price había señalado que hasta fines del siglo XVI los astrónomos no comenzaron a registrar series continuas de observaciones de la posición de los planetas. (Antes, se habían limitado a ocasionales observaciones cuantitativas de fenómenos especiales.) Sólo en ese último periodo, continuó, los astrónomos comenzaron a ver críticamente sus datos cuantitativos, reconociendo, por ejemplo, que una posición celeste registrada es un indicio de un hecho astronómico, en lugar del hecho mismo. Al discutir mi artículo, el profesor Price señaló otros signos más de cambio en la actitud hacia la medición durante la Revolución científica. Por una parte, recalcó, se registraron mucho más números. Pero quizá lo más importante haya sido que personas como Boyle, al anunciar leyes establecidas con base en mediciones, empezaron a registrar por primera vez sus datos cuantitativos, *independientemente de que éstos concordaran o no perfectamente con la ley*, en lugar de limitarse a enunciar la propia ley.

Tengo mis dudas acerca de que esta transición de la actitud hacia los números hubiese avanzado tanto durante el siglo XVII como ocasionalmente parece querer decir el profesor Price. Hooke, por ejemplo, no consignó los números de los cuales extrajo su ley de la elasticidad; antes del siglo XIX, parece no haber surgido el concepto de "cifras significativas", dentro de la física experimental. De lo que no dudo es de que el cambio estaba en proceso, y eso es muy importante. Esto amerita otra clase de artículo, en el cual espero que se examine en detalle el problema. Por el momento, permítaseme señalar simplemente lo bien que concuerda el desarrollo de los fenómenos subrayados por el profesor Price en la pauta que bosquejé al describir los efectos del baconianismo del siglo XVII.

En primer lugar, salvo quizá en la astronomía, el cambio de actitud hacia la medición ocurrido durante el siglo XVII se asemeja grandemente a la reacción hacia las novedades del programa metodológico de la "nueva filosofía". Al contrario de lo que a menudo se supone, esas novedades no fueron consecuencias del concepto de que la observación y el experimento eran básicos para la ciencia. Como lo demostró brillantemente Crombie, esa opinión y su complemento, una filosofía metodológica, alcanzaron gran desarrollo durante la Edad Media.[67] Lejos de ello, las novedades del método de la "nueva filosofía" incluyeron la creencia de que hacían falta series y series de experimentos —el argumento a favor de las historias naturales—, así como la insistencia en que todos los experimentos y las observaciones se comunicaran de manera naturalista y con todos sus detalles, preferiblemente acompañados de los nombres y las credenciales de los testigos. Tanto la frecuencia creciente con que se registraron los números como la tendencia cada vez menor a redondearlos concuerdan precisamente con los cambios de actitud baconianos, más generales, hacia la experimentación en su conjunto.

Además, resida o no resida su fuente en el baconianismo, la eficacia de la nueva actitud del siglo XVII hacia los números siguió una línea de desarrollo muy semejante a la de la eficacia de las demás novedades baconianas analizadas en mi sección final. En la dinámica, como lo ha demostrado repetidas veces el profesor Koyré, la nueva actitud casi no surtió efectos antes de fines del siglo XVIII. Las otras dos ciencias tradicionales, la astronomía y la óptica, fueron afectadas más pronto por el cambio, pero sólo en sus partes más tradicionales. Y en las ciencias baconianas, el calor, la electricidad, la química y otras, la nueva actitud no se empezó a explotar antes de 1750. En los trabajos de Black, Lavoisier, Coulomb y sus contemporáneos es en donde se aprecian los primeros efectos, verdaderamente importantes, del cambio. Y la transformación total de la física, debida a ese cambio, apenas si es visible antes de los trabajos de Ampère, Fourier, Ohm y Kelvin. Creo que el profesor Price aísla otra novedad muy significativa del siglo XVII. Pero como tantas otras de las actitudes nuevas puestas de manifiesto por la "nueva filosofía", los efectos importantes de esta nueva actitud hacia la medición apenas si se manifestaron durante el siglo XVII.

[67] Véase particularmente su *Robert Grosseteste and the Origins of Experimental Science, 1100-1700* (Oxford, 1953).

IX. LA TENSIÓN ESENCIAL: TRADICIÓN E INNOVACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA*

ESTOY muy agradecido por la invitación que se me hizo de participar en esta importante conferencia, y la interpreto como prueba de que los estudiantes de la creatividad son sensibles a los enfoques divergentes que tratan de identificar en los demás. Sin embargo, no abrigo grandes esperanzas sobre el resultado de este experimento conmigo. Como la mayoría de ustedes sabe, no soy psicólogo, sino más bien un ex físico que trabaja ahora en la historia de la ciencia. Quizá mi interés por la creatividad no sea menor que el de ustedes, pero sí son muy diferentes mis objetivos, mis técnicas y mis fuentes, a tal grado que no estoy muy seguro de cuánto tengamos, o *deberíamos* tener, que decirnos unos a otros. Estas reservas no implican una excusa; más bien, apuntan hacia mi tesis central. En las ciencias, como indicaré más adelante, es preferible emplear lo mejor que se pueda las herramientas de que se dispone, que detenerse a contemplar los enfoques divergentes.

Si una persona de mis antecedentes e intereses tiene algo pertinente que exponer en esta conferencia, no será acerca de los intereses centrales de ustedes: la personalidad creativa y su identificación precoz. Pero, implícita en los numerosos artículos de trabajo distribuidos a los participantes de esta conferencia, hay una imagen del proceso de la ciencia y del científico; tal imagen condiciona muchos de los experimentos que ustedes harán y también las conclusiones que extraerán; y acerca de ello es muy posible que el físico-historiador sí tenga algo que decir. Aquí me limitaré a un aspecto de esta imagen, el cual está condensado como sigue en uno de los artículos de trabajo: el científico básico "debe carecer de prejuicios, al grado de que pueda observar los hechos o conceptos 'evidentes por sí mismos' sin que forzosamente tenga que aceptarlos y, a la inversa, debe dar rienda suelta a su imaginación para que ésta juegue con las posibilidades más remotas" (Selye, 1959). En el lenguaje más técnico

* Reimpreso con autorización de *The Third (1959) University of Utah Research Conference on the Identification of Scientific Talent,* C. W. Taylor, compilador (Salt Lake City: University of Utah Press, 1959), pp. 162-74. *Copyright* 1959 de la University of Utah.

de otros de los artículos de trabajo (Getzels y Jackson), se repite este aspecto de la imagen subrayando el "pensamiento divergente, . . . la libertad de partir en direcciones diferentes, . . . rechazando la solución antigua y tomando una dirección nueva".

Estoy convencido de que es enteramente correcta esta descripción del "pensamiento divergente" y la búsqueda concomitante de quienes son capaces de tenerlo. Todo trabajo científico está caracterizado por algunas divergencias, y en el corazón de los episodios más importantes del desarrollo científico hay divergencias gigantescas. Pero tanto mi propia experiencia en la investigación científica como mis lecturas de la historia de las ciencias hacen que me pregunte si no se insiste demasiado en la flexibilidad y la imparcialidad como características indispensables para la investigación básica. Por eso, sugeriré más adelante que algo así como el "pensamiento convergente" es tan esencial como el divergente para el avance de la ciencia. Como estos dos modos de pensar entran inevitablemente en conflicto, se infiere que uno de los requisitos primordiales para la investigación científica de la mejor calidad es la capacidad para soportar una tensión que, ocasionalmente, se volverá casi insoportable.

En otra parte, estoy estudiando estos asuntos desde una perspectiva más bien histórica, recalcando la importancia de las "revoluciones"[1] para el desarrollo de la ciencia. Son éstas episodios —ejemplificados en su forma extrema y fácil de reconocer por el advenimiento del copernicanismo, el darwinismo, el einsteinianismo— en que una comunidad científica abandona la manera tradicional de ver el mundo y de ejercer la ciencia a favor de otro enfoque a su disciplina, por lo regular incompatible con el anterior. En el borrador de dicho estudio, argumento que el historiador se encuentra constantemente muchos episodios revolucionarios de estructura semejante, aunque más pequeños, y que éstos son vitales para el avance científico. Contrariamente a la impresión que prevalece, la mayoría de los descubrimientos y las teorías nuevas en las ciencias no son meras adiciones al acopio existente de conocimientos científicos. Para asimilar unos y otras, el científico debe reorganizar su equipo intelectual e instrumental en que ha venido confiando, y descartar algunos elementos de su credo y práctica anteriores hasta encontrar nuevos significados y nuevas relaciones entre muchos otros. Ya que, para asimilarlo a lo nuevo, lo antiguo debe ser revalorado y reordenado, en las ciencias el descubri-

[1] *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago, 1962). [*La estructura de las revoluciones científicas*, México, FCE, 1971.]

miento y la invención suelen ser intrínsecamente revolucionarios. Demandan, pues, precisamente esa flexibilidad e imparcialidad que caracterizan, o en realidad definen, al pensador divergente. Vamos, pues, a admitir de aquí en adelante la necesidad de estas características. Sin muchos científicos que las posean en alto grado, las revoluciones científicas no ocurrirían y el avance científico sería muy lento.

No basta, sin embargo, con la flexibilidad, y lo que permanece obviamente no es compatible con ella. Citando partes de un proyecto no terminado aún, debo hacer destacar que las revoluciones no son sino uno de los dos aspectos complementarios del avance científico. Casi ninguna de las investigaciones emprendidas, aun las de los más grandes científicos, está destinada a ser revolucionaria; sólo una parte muy pequeña de ésta es de naturaleza revolucionaria. Por el contrario, incluso la investigación normal de mejor calidad es una actividad en su mayor parte convergente, fincada sólidamente en un consenso establecido, adquirido este último de la educación científica y fortalecido por la práctica de la profesión. Regularmente, esta investigación convergente o basada en el consenso desemboca en la revolución. Entonces, las técnicas y las creencias tradicionales se abandonan para remplazarlas por otras nuevas. Pero los cambios revolucionarios de una tradición científica son relativamente raros, y épocas prolongadas de investigación convergente son sus preliminares necesarios. Como indicaré en seguida, sólo las investigaciones cimentadas firmemente en la tradición científica contemporánea tienen la probabilidad de romper esa tradición y de dar lugar a otra nueva. Ésta es la razón de que hable yo de una "tensión esencial" implícita en la investigación científica. Para hacer su trabajo,el científico debe adquirir toda una variedad de compromisos intelectuales y prácticos. Sin embargo, su aspiración a la fama, en caso de que tenga el talento y la buena suerte para ganarla, puede estar fundada en su capacidad para abandonar esa red de compromisos a favor de otros que él mismo invente. Muy a menudo, el científico que logra el éxito debe mostrar, simultáneamente, las características del tradicionalista y las del iconoclasta.[2]

[2] Estrictamente hablando, es el grupo profesional, y no el científico individual, el que debe mostrar simultáneamente estas características. Al tratarse con toda su extensión el asunto de este artículo, tendría que ser básica esa distinción entre las características del grupo y las del individuo. Aquí sólo puedo observar que, si bien el reconocimiento de esa distinción atenúa el conflicto o la tensión, no la elimina. Dentro del grupo, algunos individuos serán tradicionalistas, otros iconoclastas, y en consecuencia sus

Los múltiples ejemplos históricos en los que debiera basarse la documentación cabal de estos puntos nos están vedados aquí por las limitaciones de tiempo propias de la conferencia. Pero, examinando la naturaleza de la educación dentro del campo de las ciencias naturales, daré un paso más para explicar lo que tengo en mente. En uno de los trabajos preparatorios de esta conferencia (Getzels y Jackson), se cita la muy clara descripción que Guilford hace de la educación científica: "Se ha hecho hincapié en las capacidades relativas al pensamiento convergente y a la evaluación, a menudo a expensas del desarrollo relativo al pensamiento divergente. Nos hemos propuesto enseñarles a los estudiantes la manera de llegar a respuestas 'correctas' que nuestra civilización nos ha enseñado que son correctas. . . Salvo en las artes [y yo incluiría a la mayoría de las ciencias sociales], por regla general hemos desalentado, involuntariamente, el desarrollo de las capacidades del pensamiento divergente." Tal caracterización me parece eminentemente justa, pero quisiera saber si será del mismo modo justo deplorar el producto resultante. Sin ponerme a defender una manera de enseñar claramente mala, y dando por supuesto que en este país ha ido muy lejos la tendencia hacia el pensamiento convergente en toda la educación, puedo reconocer, sin embargo, que ha sido intrínseco a las ciencias, casi desde sus orígenes, un riguroso adiestramiento en materia de pensamiento convergente. Y sugiero que, sin éste, las ciencias nunca habrían alcanzado el estado en que se encuentran en la actualidad.

Permítaseme resumir la naturaleza de la educación en las ciencias naturales, pasando por alto las muchas diferencias significativas, pero aun así menores, que existen entre las diversas ciencias y entre los enfoques de las diferentes instituciones educativas. La característica más notable de esta educación consiste en que, en grado totalmente desconocido en otros campos creativos, se realiza mediante libros de texto. Por lo regular, los estudiantes *y* los graduados de química, física, astronomía, geología o biología adquieren la sustancia de sus disciplinas de libros escritos especialmente para estudiantes. Hasta que están preparados, o casi, para comenzar a trabajar en sus propias tesis, no se les pide que traten de realizar proyectos de investigación ni que conozcan cuanto antes los productos de investigaciones hechas por otros, esto es, que se enteren de las comunicaciones profesionales

aportaciones diferirán. La educación, las normas institucionales y la naturaleza del trabajo a realizar se combinarán inevitablemente para asegurar que todos los miembros del grupo, en mayor o menor grado, sean atraídos en ambas direcciones.

que los científicos se escriben unos a otros. No hay antologías de "textos seleccionados" en las ciencias naturales. Tampoco se anima a los estudiantes de ciencias para que lean los clásicos históricos propios de sus campos, trabajos en los cuales podrían descubrir otras maneras de considerar los problemas que aparecen en sus libros de texto, pero en los cuales podrían encontrar también problemas, conceptos y normas de solución que, dentro del campo de sus respectivas profesiones, han sido descartados y sustituidos por otros.

En contraste con esto, los textos que el estudiante suele emplear tratan diferentes asuntos, en lugar de que, como en muchas de las ciencias sociales, ejemplifiquen diferentes enfoques a un mismo asunto. Aun los libros que compiten por ser adoptados para un mismo curso difieren principalmente de nivel y de detalle pedagógico, pero no de sustancia ni de estructura conceptual. Por último, pero esto es lo más importante, está la técnica característica de presentación del libro de texto. Salvo ocasionalmente en sus introducciones, los libros de texto científicos no describen las clases de problemas que es posible que el profesional tenga que resolver, como tampoco la gran variedad de técnicas para solucionarlos. Lejos de ello, en estos libros aparecen soluciones a problemas concretos que dentro de la profesión se vienen aceptando como paradigmas, y luego se le pide al estudiante que resuelva por sí mismo, con lápiz y papel o bien en el laboratorio, problemas muy parecidos, tanto en método como en sustancia, a los que contiene el libro de texto o a los que se han estudiado en clase. Nada mejor calculado para producir "predisposiciones mentales" o *Einstellungen*. Sólo en sus cursos más elementales, los demás campos académicos ofrecen tal vez la visión de un cierto paralelismo.

Aun dentro de la teoría educativa más vagamente liberal, debe verse como anatema esta técnica pedagógica. Debiéramos estar de acuerdo en que los estudiantes deben comenzar por aprender una buena cantidad de lo que ya se sabe, pero al mismo tiempo insistiríamos en que la educación les debe dar muchísimo más. Digamos que deben aprender a reconocer y a evaluar problemas para los cuales no se han dado todavía soluciones inequívocas; debiera dotárseles de todo un arsenal de técnicas para atacar estos problemas futuros; y debiera enseñárseles a juzgar la pertinencia de estas técnicas y a evaluar las posibles soluciones parciales que de ellas resultan. En muchos aspectos, estas actitudes hacia la educación me parecen enteramente correctas, pero hay que decir dos cosas acerca de ellas. Primera, que la educación en ciencias naturales no parece haber sido afectada por la existencia de tales actitudes. Persiste la iniciación dogmática en una tradición

preestablecida que el estudiante no está capacitado para evaluar. Segunda, que por lo menos en la época en que fue seguida por una especie de noviciado esta técnica de exposición exclusiva a una tradición rígida ha producido una inmensa clase de innovaciones.

Exploraré brevemente la pauta de práctica científica que produce esta iniciación educativa y luego trataré de explicar por qué dicha pauta resulta ser tan fructífera. Pero, primero, con una breve excursión histórica, terminaré de fundamentar lo que acabo de decir, y prepararé el camino para lo que sigue. Me gustaría sugerir que los varios campos de las ciencias naturales no se han caracterizado siempre por la educación rígida dentro de paradigmas excluyentes, sino que, dentro de cada uno de ellos, se adquirió algo así como una técnica precisamente en el punto en que el campo empezó a progresar de manera rápida y sistemática. Si se pregunta uno por el origen de nuestros conocimientos contemporáneos sobre la composición química, los terremotos, la reproducción biológica, el movimiento en el espacio, o cualquier otro conocimiento propio de las ciencias naturales, se encontrará de inmediato la pauta característica que trataré de ilustrar aquí con un solo ejemplo.

En los libros de física actuales, se dice que la luz muestra propiedades de onda y propiedades de partícula: tanto los problemas de libro de texto como los de investigación se plantean de acuerdo con ello. Pero tanto esta concepción como estos libros de texto son productos de una revolución científica ocurrida a principios de este siglo. (Una de las características de las revoluciones científicas consiste en que obligan a reescribir los libros de texto.) Antes de 1900, durante más de medio siglo, en los libros empleados en la educación científica se decía que la luz era movimiento ondulatorio. En estas circunstancias, los científicos trabajaron en problemas algo diferentes y a menudo adoptaron clases bastante diferentes de soluciones a esos problemas. Pero la tradición de los libros de texto en el siglo XIX no es lo que marca el principio de nuestro asunto. Durante todo el siglo XVIII y principios del XIX, la *Óptica*, de Newton[3], y los demás libros de los cuales se aprendió ciencia, les enseñaron a casi todos los estudiantes que la luz consistía en partículas, y la investigación guiada por esta tradición fue muy diferente de la que la sucedió. Pasando por alto toda una variedad de

[3] Vasco Rochi, en *Histoire de la lumière*, trad. de J. Taton (París, 1956), describe la historia de la óptica física antes de Newton. Su descripción le hace justicia al elemento que acabo de elaborar. Muchas de las aportaciones fundamentales a la óptica física se hicieron en los dos milenios que precedieron al trabajo de Newton. El consenso no es

cambios menores ocurridos dentro de estas tres tradiciones sucesivas, podemos decir, por consiguiente, que nuestras concepciones provienen históricamente de las de Newton, a través de dos revoluciones ocurridas en el pensamiento relativo a la óptica, cada una de las cuales remplazó por otra una tradición de pensamiento convergente. Si tomamos en cuenta los cambios de lugar y de materiales de la educación científica, podemos decir que cada una de estas tres tradiciones estuvo incorporada a la clase de educación por exposición a paradigmas inequívocos que antes resumí. Desde Newton, la educación y la investigación en el campo de la óptica han venido siendo convergentes.

Pero la historia de las teorías de la luz no se inicia con Newton. Si nos preguntamos por el conocimiento que existió en ese mismo campo antes de la época de Newton, nos encontraremos con una pauta significativamente distinta, la cual sigue siendo familiar todavía en los campos de las artes y algunas de las ciencias sociales, pero que prácticamente ha desaparecido de las ciencias naturales. Desde la más remota antigüedad y hasta fines del siglo XVII, no hubo un solo conjunto de paradigmas para el estudio de la óptica. En lugar de ello, muchos estudiosos sostuvieron numerosos puntos de vista diferentes sobre la naturaleza de la luz. Algunos de estos puntos de vista tuvieron pocos partidarios, pero gran número de ellos dieron lugar a verdaderas escuelas de pensamiento en el terreno de la óptica. Si bien el historiador puede observar el surgimiento de nuevos puntos de vista, así como modificaciones en la popularidad relativa de los antiguos, no podrá observar en cambio nada que se asemeje a un consenso. En consecuencia, quien por primera vez entraba en este campo se veía expuesto inevitablemente a toda una variedad de puntos de vista contradictorios; se veía obligado a examinar las pruebas relativas a cada uno de ellos, las cuales eran siempre numerosas. El hecho de que el principiante tuviera que hacer una elección y luego conducirse de acuerdo con ella no impedía que estuviese consciente de las demás posibilidades. Este modo de educación tenía, obviamente, más posibilidades de producir un científico libre de prejuicios, alerta a los fenómenos nuevos y flexible en la manera de enfocar su campo. Por otro lado, es muy difícil librarse de la impresión de que, durante el periodo caracterizado

condición esencial para cierta clase de progreso en las ciencias naturales, de la misma manera que tampoco lo es en las ciencias sociales o en las artes. Sí lo es para la clase de progreso a la que nos referimos cuando distinguimos las ciencias naturales de las artes y la mayoría de las ciencias sociales.

por esta práctica educativa más liberal, la óptica hizo muy pocos progresos.

La fase de preconsenso —a la que podríamos llamar divergente— en el desarrollo de la óptica se repite, creo, en la historia de las demás especialidades científicas, exceptuadas únicamente aquellas que se originaron en la subdivisión y recombinación de las disciplinas preexistentes. En algunos campos, como las matemáticas y la astronomía, el primer consenso firme es prehistórico. En otros, como la dinámica, la óptica geométrica y algunas partes de la fisiología, los paradigmas que produjeron un consenso firme datan de la antigüedad clásica. En la mayoría de las demás ciencias naturales, a pesar de que sus problemas fueron discutidos ya desde la antigüedad, no se logró un consenso firme hasta después del Renacimiento. En la óptica, como hemos visto, el primer consenso firme data apenas de fines del siglo XVII en la electricidad, la química y el estudio del calor, del siglo XVIII; y en la geología y en las partes no taxonómicas de la biología, un consenso real no surgió hasta después del primer tercio del siglo XIX. Este siglo parece caracterizarse por el surgimiento del primer consenso en partes de unas cuantas de las ciencias sociales.

En todos los campos que acabo de enumerar, se realizó un vasto trabajo antes de alcanzarse la madurez producida por consenso. No puede entenderse la naturaleza ni determinarse la época del primer consenso en estos campos sin examinar cuidadosamente tanto las técnicas intelectuales como las intrumentales que se desarrollaron antes de la existencia de paradigmas únicos. Pero la transición a la madurez no es menos importante porque los individuos hayan practicado la ciencia antes de que ésta existiese. Por el contrario, los hechos históricos sugieren fuertemente que, aunque se practique la ciencia —como en la filosofía o en las ciencias del arte y la política— sin un consenso firme, esta práctica más flexible no producirá la pauta de avances científicos rápidos y consecuentes a que nos han acostumbrado los siglos recientes. En esa pauta, el desarrollo ocurre de un consenso a otro, y comúnmente los enfoques distintos no compiten entre sí. Salvo, quizá, en condiciones epeciales, el profesional de una ciencia madura no se detiene a examinar los modos divergentes de explicación ni de experimentación.

¿Cómo es que ocurre esto? ¿Cómo es que una orientación firme hacia una tradición al parecer única puede ser compatible con la práctica de las disciplinas más notables por la producción continua de ideas y técnicas nuevas? Pero conviene comenzar con la interrogante

de qué es lo que no hace una educación que tan eficazmente transmite tal tradición. ¿Qué es lo que espera hacer en su carrera profesional un científico que trabaja dentro de una tradición arraigada profundamente y poco adiestrado para percibir las opciones importantes? Los límites de tiempo me fuerzan, de nuevo, a simplificar drásticamente, pero con los comentarios siguientes sugeriré por lo menos una posición que, estoy seguro, puede documentarse al detalle.

En la ciencia pura o básica —esa categoría un tanto efímera de investigación realizada por quienes persiguen la meta inmediata de entender mejor y no de controlar la naturaleza—, los problemas característicos son casi siempre repeticiones, con modificaciones menores, de problemas que ya fueron atacados y resueltos parcialmente desde antes. Por ejemplo, gran parte de la investigación que se localiza dentro de una tradición científica es un intento por ajustar la teoría y las observaciones existentes para hacerlas concordar entre sí una vez más. El examen constante de los espectros atómicos y moleculares durante los años posteriores a la fundación de la mecánica ondulatoria, junto con el diseño de aproximaciones teóricas para la predicción de espectros complejos, es un ejemplo notable de esta especial clase de trabajo. Otro ejemplo está en los comentarios hechos acerca del desarrollo de la mecánica newtoniana, en el siglo XVIII, incluidos en el artículo sobre medición que se entregó a ustedes antes de la conferencia.[4] El intento por lograr que la teoría y la observación existentes concuerden entre sí cada vez más no es, desde luego, la única clase de problema de investigación que se presenta normalmente en las ciencias básicas. El desarrollo de la termodinámica química o los continuos intentos por descubrir la estructura orgánica ilustran otro tipo de problema de investigación: la extensión de la teoría presente a campos que, según se espera, ésta podría abarcar también, pero a los cuales nunca antes se ha aplicado. Además, para mencionar otra clase más de problema de investigación, tómese en cuenta el trabajo realizado por muchos científicos que se dedican constantemente a recoger los datos concretos (por ejemplo, los pesos atómicos, los momentos nucleares) que hacen falta para la aplicación y la extensión de la teoría existente.

Éstos son proyectos de investigación normales en las ciencias básicas, e ilustran las clases de trabajos en que todos los científicos, aun los más grandes, emplean la mayor parte de sus vidas profesionales y a

[4] Una versión revisada apareció en *Isis*, 52 (1961): 161-193.

los cuales muchos otros dedican íntegramente sus vidas. Claro está que sus trabajos no pretenden producir —ni tampoco tienen la probabilidad de hacerlo— descubrimientos fundamentales ni cambios revolucionarios dentro de la teoría científica. Sólo cuando se asume la validez de la tradición científica contemporánea es cuando estos problemas adquieren sentido teórico o práctico. Los hombres que sospecharon de la existencia de un tipo de fenómeno absolutamente nuevo o que tuvieron dudas esenciales acerca de la validez de la teoría existente no pensaron que valiese la pena trabajar sobre los problemas modelados conforme a los paradigmas de libro de texto. De ahí que los hombres que sí atacaron problemas de esta clase —y esto significa todos los científicos la mayoría de las veces— tienden a dilucidar la tradición científica dentro de la cual crecieron y no a tratar de cambiarla. Además, la fascinación de su trabajo reside en las dificultades que se presentan al tratar de dilucidar, antes que en las sorpresas que probablemente les produzca ese trabajo. En condiciones normales, el investigador no es un innovador sino un solucionador de acertijos, y los acertijos sobre los cuales se concentra son precisamente aquellos que él cree que pueden plantearse y resolverse dentro de la teoría científica que prevalece en su momento.

Sin embargo —y aquí está la clave—, el efecto final de este trabajo dentro de la tradición es ejercido invariablemente sobre esta misma. Una y otra vez, el intento constante por dilucidar la tradición vigente termina por producir uno de esos cambios en la teoría fundamental, en la problemática y en las normas científicas, a todo lo cual me he referido ya como revoluciones científicas. Por lo menos para la comunidad científica en su conjunto, el trabajo dentro de una tradición bien definida y profundamente arraigada parece ser más productivo de novedades en contra de la tradición, que el trabajo en el que no hay de por medio normas de la misma naturaleza convergente. ¿Cómo es posible esto? Creo que porque no hay otra clase de trabajo tan tendente a aislar, mediante la atención constante y concentrada, esos focos de problemas o causas de crisis, de cuyo reconocimiento dependen los avances fundamentales dentro de las ciencias básicas.

Como lo indiqué en el primero de mis artículos preparatorios, las teorías nuevas y, en grado creciente, los descubrimientos, dentro de las ciencias maduras, no ocurren independientemente del pasado. Por lo contrario, surgen de teorías antiguas y dentro de la matriz de creencias añejas acerca de los fenómenos, que el mundo contiene y *no contiene*. De ordinario, tales novedades son tan esotéricas y recónditas

que no las nota el hombre desprovisto de una gran cantidad de adiestramiento científico. E incluso para el hombre bien adiestrado no basta con que de momento decida ponerse a buscarlas, explorando, por ejemplo, las áreas en que los datos y la teoría existentes no sirven para explicar los fenómenos. Hasta en una ciencia madura hay siempre demasiadas áreas de esta índole, dentro de las cuales parecen aplicarse paradigmas que no existen todavía y para cuya exploración hay pocos instrumentos y normas disponibles. Lo más probable es que el científico que se aventure dentro de esas áreas, abandonándose a su intuición de los nuevos fenómenos y a su capacidad de ser flexible ante nuevas pautas de organización, no llegue a ninguna parte. Y lo más seguro es que prefiera volver su ciencia a la fase de preconsenso o de historia natural.

En lugar de esto, el profesional de una ciencia madura, desde el principio de la investigación para su doctorado, continúa trabajando en las regiones a las cuales parecen adaptarse los paradigmas provenientes de su educación y de las investigaciones de sus contemporáneos. Es decir, trata de dilucidar detalles topográficos sobre un mapa cuyas líneas principales ya existen y espera —si es lo suficientemente perspicaz como para reconocer la naturaleza de su campo— que algún día atacará un problema dentro del cual *no* ocurrirá lo previsto, problema que al apartarse de lo consabido sugerirá la debilidad fundamental del propio paradigma. En las ciencias maduras, el preludio a muchos descubrimientos y a todas las teorías nuevas no consiste en la ignorancia, sino en el reconocimiento de que algo anda mal en lo que se sabe y en lo que se cree.

Lo dicho hasta el momento puede indicar que al científico productivo le bastará con adoptar la teoría presente, a manera de hipótesis provisoria, emplearla como punto de partida de su investigación, y luego abandonarla tan pronto como lo conduzca a un foco de problemas, llegado al cual sabrá que algo anda mal. Pero aunque la capacidad de reconocer el problema en el momento en que se lo encuentra es, seguramente, indispensable para el avance científico, el problema no debe ser demasiado fácil de reconocer. Al científico le hace falta un compromiso total hacia la tradición con la cual, en caso de que logre el éxito, habrá de romper. Este compromiso lo exige, en parte, la naturaleza de los problemas que el científico ataca normalmente. Éstos, como ya vimos, son por lo común acertijos esotéricos cuya utilidad reside menos en la información que se descubre al solucionarlos —casi todos sus detalles se conocen de antemano—, que en las

dificultades técnicas que habrán de superarse para encontrar la solución. Los problemas de esta clase son atacados únicamente por hombres convencidos de que hay una solución que será posible encontrar gracias a un despliegue de ingenio, y sólo la teoría existente puede llevar a un convencimiento de esa índole. Tal teoría da significado a la mayoría de los problemas de la investigación normal. Ponerla en duda es dudar de que tengan soluciones los complejos acertijos técnicos que constituyen la investigación normal. ¿Quién, por ejemplo, establecería las complejas técnicas matemáticas necesarias para estudiar los efectos de las atracciones interplanetarias, con fundamento en órbitas keplerianas, si no empezara por suponer que la dinámica newtoniana, aplicada a los planetas que conoce, sirve para explicar los últimos detalles de la observación astronómica? Pero, sin esa seguridad, ¿cómo sería posible descubrir Neptuno y aumentar la lista de los planetas?

El compromiso, además, tiene razones prácticas apremiantes. Todo problema de investigación lleva al científico a enfrentarse con anomalías cuyas fuentes no puede identificar claramente. Sus teorías y sus observaciones nunca concuerdan del todo; las observaciones sucesivas nunca arrojan exactamente los mismos resultados; sus experimentos tienen productos secundarios, tanto teóricos como fenomenológicos, a los que sería necesario dedicar otro proyecto de investigación. Cada una de estas anomalías o fenómenos no entendidos del todo puede ser la clave para una innovación fundamental dentro de la teoría o la técnica científicas, pero quien se detiene a examinarlas, una por una, nunca concluye su proyecto original. Los informes de investigación dan a entender repetidamente que casi todas las discrepancias importantes y significativas podrían ser asimiladas a la teoría existente, siempre y cuando hubiese tiempo para ello. Los hombres que elaboran estos informes encuentran, la mayoría de las veces, que esas discrepancias son triviales y carentes de interés, evaluación que de ordinario únicamente puede basarse en la fe que tienen en la teoría existente. Sin esa fe, su trabajo sería un desperdicio de tiempo y talento.

Además, la falta de compromiso lleva demasiadas veces al científico a atacar problemas que tiene pocas posibilidades de resolver. Tratar de reducir una anomalía es tarea fructífera sólo cuando la anomalía es algo más que trivial. Habiéndola descubierto, lo primero que hace el científico, igual que sus colegas, es lo mismo que están haciendo actualmente los físicos nucleares. Luchan por generalizar la anomalía,

por descubrir otras manifestaciones reveladoras del mismo efecto, a fin de conferirle estructura examinando sus complejas relaciones recíprocas con los fenómenos que, creen ellos, entienden todavía. Muy pocas anomalías son susceptibles de esta clase de tratamiento. Para que lo sean, deben estar en conflicto explícito e inequívoco con alguna afirmación que se encuentre en algún lugar clave de la estructura de la doctrina científica presente. Por consiguiente, reconocerla y evaluarla depende de un firme compromiso hacia la tradición científica contemporánea.

Este papel central de una tradición compleja y a menudo esotérica es lo que tengo en mente, ante todo, cuando hablo de la tensión esencial dentro de la investigación científica. No dudo de que el científico deba ser, por lo menos en potencia, un innovador, que debe poseer flexibilidad mental y estar preparado para reconocer los problemas en donde éstos se presenten. Así, gran parte del estereotipo popular seguramente es correcta, y por eso es importante para buscar los índices de las características de personalidad correspondientes. Pero lo que no forma parte de *nuestro estereotipo* y parece necesitar una integración cuidadosa con éste es la otra cara de la moneda. Creo que tenemos muchas más probabilidades de explotar a fondo nuestro talento científico potencial si reconocemos la medida en que el científico básico debe ser también un firme tradicionalista, o, para decirlo en las palabras de ustedes, un pensador convergente. Lo más importante es que debemos entender la manera como estos dos modos de solución de problemas, superficialmente discordantes, pueden reconciliarse tanto dentro del individuo como dentro del grupo.

Todo lo que acabo de decir necesita ser elaborado y documentado. Es muy probable que, dentro del proceso, cambien algunas cosas. Este artículo es un informe sobre un trabajo en progreso. Pero, aunque insisto en que mucho de él es provisorio e incompleto, todavía tengo la esperanza de que indique por qué un sistema educativo, mejor descrito como iniciación dentro de una tradición inequívoca, debe ser perfectamente compatible con el trabajo científico en pleno progreso. Y espero, además, haber hecho plausible la tesis histórica de que ninguna parte de la ciencia ha llegado muy lejos ni muy rápidamente antes de esta educación convergente y, correlativamente, de que esto mismo es lo que ha posibilitado la práctica normal convergente. Por último, aunque está fuera de mi competencia el inferir correlatos de personalidad de esta concepción del desarrollo científico, espero haberle infundido significado a la idea de que el científico productivo

debe ser un tradicionalista que disfrute de juegos intrincados, con reglas preestablecidas, para ser un innovador de éxito que descubre nuevas reglas y nuevas piezas con las cuales jugar.

Como lo había planeado, mi artículo tenía que haber terminado en este punto. Pero, al trabajar en él, dentro del contexto de los artículos preparatorios distribuidos a los asistentes a la conferencia, vi la necesidad de redactar un *post scriptum*. Permítaseme, por consiguiente, tratar de eliminar una posible fuente de mala interpretación y, al mismo tiempo, de sugerir un problema que necesita urgentemente una amplia investigación.

Todo lo dicho aquí trató de aplicarse rigurosa y exclusivamente a la ciencia básica, empresa dentro de la cual sus profesionales han sido de ordinario relativamente libres de elegir sus propios problemas. Como ya indiqué, estos problemas se han seleccionado, por regla general, dentro de áreas en donde los paradigmas podían aplicarse inequívocamente, pero dentro de las cuales persistían una serie de acertijos sobre la manera de aplicarlos y de cómo hacer que la naturaleza se conformase a los resultados de la aplicación. Claro está que el inventor o el científico aplicado no son, por lo general, libres de elegir acertijos de esta suerte. Quizá los problemas de entre los cuales tengan que elegir estén determinados en gran parte por circunstancias sociales, económicas o militares, que son externas a las ciencias. A menudo, la decisión de buscar la cura para una enfermedad muy virulenta, una fuente de iluminación o una aleación que resista el intenso calor de los motores cohete debe tomarse con relativa independencia del estado de la ciencia que venga al caso. No es evidente, de ninguna manera, que las características de personalidad indispensables para la preeminencia en esta clase de trabajo más bien práctico sean en conjunto las mismas que se requieren para obtener grandes logros en la ciencia básica. La historia indica que tan sólo unos cuantos individuos, la mayoría de los cuales trabajó en áreas bien delimitadas, han sido eminentes en ambas cosas.

No estoy muy seguro de a dónde nos conduzca esta sugerencia. Es necesario investigar más las problemáticas distinciones entre investigación básica, investigación aplicada e invención. Con todo, parece probable, por ejemplo, que el científico aplicado, para cuyos problemas el paradigma científico no tiene que venir muy al caso, se beneficia con una educación mucho más amplia y menos rígida que la que tradicionalmente se le da al científico puro. Hay ciertamente muchos

episodios dentro de la historia de la tecnología en que la falta de la educación científica más rudimentaria ha resultado ser de gran ayuda. Recuérdese simplemente que Edison inventó la luz eléctrica ante una opinión científica unánime de que la luz de arco no podía "subdividirse", y hay muchos otros episodios por el estilo.

Pero esto no debe sugerir que las meras diferencias de educación transforman al científico aplicado en científico básico o viceversa. Lo menos que podría argumentarse es que la personalidad de Edison, igual para el inventor y quizá también para el "excéntrico" de la ciencia aplicada, lo eliminaba de los logros fundamentales de las ciencias básicas. Manifestó gran desdén por los científicos y pensaba que eran personas de ideas desordenadas, a las que podía contratarse cuando fuese necesario. Pero esto no impidió que, ocasionalmente, inventara las ideas más generales e irresponsables. (Esta pauta se repite a principios de la historia de la tecnología eléctrica: tanto Tesla como Gramme idearon absurdos esquemas cósmicos que, según ellos, debían remplazar al pensamiento científico de sus épocas.) Episodios como éste fortalecen la impresión de que los requisitos de personalidad del científico puro y los del inventor pueden ser por entero diferentes, y que tal vez los del científico aplicado ocupen un lugar intermedio.[5]

De todo esto, ¿puede sacarse alguna otra conclusión? Me asalta un pensamiento especulativo. Si leí correctamente los artículos preparatorios, en éstos se sugiere que la mayoría de ustedes se encuentra realmente en busca de la personalidad *inventiva*, esa clase de persona en la que predomina el pensamiento divergente, clase que se ha producido en abundancia en los Estados Unidos. Mientras tanto, tal vez se les estén escapando a ustedes algunas de las cualidades esenciales del científico básico, tipo bastante diferente de persona a cuyas filas las contribuciones de los Estados Unidos han sido notoriamente escasas. Como la mayor parte de ustedes es estadunidense, lo más probable es que esta correlación no sea una mera coincidencia.

[5] Sobre la actitud de los científicos hacia la posibilidad técnica de la luz incandescente, véase Francis A. Jones, *Thomas Alva Edison* (Nueva York, 1908), pp. 99-100, y Harold C. Passer, *The Electrical Manufacturers, 1875-1900* (Cambridge, Mass., 1953), pp. 82-83. Sobre la actitud de Edison hacia los científicos, véase Passer, *ibid.*, pp. 180-181. Para una muestra de las teorizaciones de Edison en terrenos ya sujetos al estudio científico, véase Dagobert D. Runes, compilador, *The Diary and Sundry Observations of Thomas Alva Edison* (Nueva York, 1948), pp. 205-244, *passim*.

X. LA FUNCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS IMAGINARIOS*

LOS EXPERIMENTOS imaginarios han desempeñado más de una vez un papel de importancia crítica en el desarrollo de la física. Lo menos que el historiador debe hacer es reconocerlos como instrumentos, en ocasiones muy potentes, para comprender más y mejor la naturaleza. No está nada claro, sin embargo, cómo es que pueden tener efectos tan significativos. Muchas veces, como en el caso del tren de Einstein, que es alcanzado por el rayo en sus dos extremos, tratan de situaciones que no se han examinado en el laboratorio.[1] Otras veces, como en el caso del microscopio de Bohr-Heisenberg, plantean situaciones que ni podrían examinarse totalmente ni tienen que darse en la naturaleza.[2] Tal estado de cosas da lugar a una serie de interrogantes, tres de las cuales se examinarán en este artículo mediante el extenso análisis de un solo ejemplo. Claro está que ningún experimento aislado es representativo de los que han tenido gran importancia histórica. La catego-

* Reimpreso con autorización de *L'aventure de la science, Mélanges Alexandre Koyré* (París: Hermann, 1964), 2:307-334. *Copyright* de Hermann, París, 1964.

[1] El famoso experimento del tren aparece por primera vez en la vulgarización de la teoría de la relatividad debida al propio Einstein, *Ueber die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie (Gemeinverständlich)* (Braunschweig, 1916). En la quinta edición (1920), la cual consulté, el experimento se describe en las pp. 14-19. Nótese que este experimento imaginario es tan sólo una versión simplificada del empleado en el primer escrito de Einstein sobre la relatividad, "Zur Elektrodynamik bewegter Körper", *Annalen der Physik*, 17 (1905): 891-921. En el experimento imaginario original sólo se empleaba una señal luminosa; el lugar de la otra lo ocupaba la reflexión sobre un espejo.

[2] W. Heisenberg, "Ueber den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik", *Zeitschrift für physik*, 43 (1927): 172-198. N. Bohr, "The Quantum Postulate and the Recent Development of Atomic Theory", *Atti del Congresso Internazionale dei Fisici*, 11-20 Settembre 1927, vol. 2 (Bolonia, 1928), pp. 565-588. En la discusión, se empieza tratando al electrón como partícula clásica y luego se discute su trayectoria antes y después de su colisión con el fotón que se emplea para determinar su posición o su velocidad. El resultado consiste en demostrar que no es posible realizar estas mediciones dentro del terreno de la física clásica y que, por tanto, en la descripción inicial se suponía más de lo que permite la mecánica cuántica. Sin embargo, esa violación de los principios de la mecánica cuántica no disminuye la importancia del experimento imaginario.

ría de "experimento imaginario" es demasiado amplia y demasiado vaga como para resumirla. Muchos experimentos imaginarios difieren del que aquí se examina. Pero este ejemplo en particular, extraído de la obra de Galileo, tiene en sí gran interés, el cual aumenta por su obvia semejanza con ciertos experimentos imaginarios que resultaron eficaces en la reformulación de la física ocurrida en el siglo XX. Aunque no lo fundamentaré, sugiero que este ejemplo tipifica una clase muy importante.

Los principales problemas que surgen al estudiar los experimentos imaginarios pueden formularse en una serie de interrogantes. Primero, siendo que la situación de un experimento imaginado no puede ser de ninguna manera arbitraria, ¿a qué condiciones de verosimilitud está sujeta? Dicho de otro modo, ¿en qué sentido y en qué medida la situación debe ser tal que la naturaleza podría presentarla o la presenta de hecho? Esta interrogante nos lleva a otra. Concediendo que todo experimento imaginario cuyos resultados han sido fructíferos incorpora en su diseño alguna información previa sobre el mundo, ésta no se halla a discusión dentro del experimento. Por el contrario, al tratar de un experimento imaginario real, vemos que los datos empíricos en los que se funda son tanto bien conocidos como de aceptación general desde antes de que el experimento se conciba siquiera. ¿Cómo es entonces que, confiando exclusivamente en datos familiares, se puede llegar con un experimento imaginario a un conocimiento nuevo o a una nueva comprensión de la naturaleza? Por último, ¿qué clase de conocimiento o comprensión nuevos pueden obtenerse así? ¿Qué es lo que los científicos esperan aprender de los experimentos imaginarios?

Hay un conjunto de respuestas más bien fáciles a estas preguntas, y las desarrollaré en las dos secciones que siguen, ilustrándolas con casos tomados de la historia de la psicología. Estas respuestas —que son desde luego muy importantes pero, según yo, no del todo correctas— sugieren que la nueva manera de entender algo, producida por los experimentos imaginados, no es un entender a *la naturaleza*, sino más bien al *aparato conceptual* del científico. En este análisis, la función del experimento imaginario es la de contribuir a eliminar una confusión previa forzando al científico a reconocer contradicciones que, desde un principio, eran inherentes a su manera de pensar. A diferencia del descubrimiento de un conocimiento nuevo, la eliminación de la confusión existente parece no reclamar datos empíricos nuevos. Y la situación imaginada no tiene que existir verdaderamente en la naturaleza. Por el contrario, el experimento imaginario cuyo único propósito

es el de eliminar la confusión está sujeto a una sola condición de verosimilitud. La situación imaginada debe ser tal que el científico pueda aplicarle sus conceptos de la manera que normalmente los emplea.

Por ser muy plausibles y por relacionarse estrechamente con la tradición filosófica, estas respuestas ameritan un examen detallado y serio. Al examinarlas, además, nos haremos de instrumentos analíticos esenciales. En ellas, sin embargo, se omiten características importantes de la situación histórica en que se dan los experimentos imaginarios. Por eso, en las dos secciones finales de este artículo se tratarán de modo algo diferente esas mismas respuestas. En particular, la tercera sección sugerirá que es significativamente incorrecto describir como "contradictoria en sí" o "confusa" la situación del científico antes de la ejecución del experimento imaginario que venga al caso. Más exacto sería decir que los experimentos imaginarios ayudan al científico para que llegue a leyes y teorías diferentes de las que ha sostenido antes. En ese caso, el conocimiento previo puede haber sido "confuso" y " contradictorio" sólo en el sentido, bastante especial y enteramente ahistórico, de que se atribuiría la confusión y la contradicción a todas las leyes y teorías que el progeso científico ha obligado a descartar. Pero esa descripción sugiere, inevitablemente, que los efectos de la experimentación imaginaria, aunque no arrojan datos nuevos, están mucho más próximos a los de la experimentación real de lo que comúnmente se supone. En la última sección se tratará de sugerir de qué manera ocurre esto.

El contexto histórico dentro del cual los experimentos imaginarios reales contribuyen a reformular o reajustar conceptos existentes es inevitablemente de una complejidad extraordinaria. Comenzaré, por tanto, con un ejemplo más simple, ya que no es histórico: el de una transposición conceptual inducida en el laboratorio por el brillante psicólogo infantil Jean Piaget, de nacionalidad suiza. Conforme avancemos, se justificará este aparente alejamiento de nuestro asunto. Piaget trabajó con niños, exponiéndolos a una situación de laboratorio real y luego haciéndoles preguntas acerca de ésta. En sujetos de una edad un poco mayor, sin embargo, se habrían producido el mismo efecto con las solas preguntas, sin necesidad de ningún aparato. Si es que tales preguntas se producen por sí mismas, entonces nos enfrentaríamos a la situación experimental, de carácter imaginario puro, que se mostrará en la sección siguiente extrayéndola de la obra de Galileo. Como, además, la transposición inducida por el experimento de Gali-

leo se asemeja enormemente a la producida en el laboratorio de Piaget, aprenderemos mucho si comenzamos por el caso más elemental.

En la situación de laboratorio de Piaget, se les presentaron a los niños dos coches de juguete de diferentes colores, uno rojo y otro azul.[3] En cada exposición experimental, ambos coches se movieron uniformemente y en línea recta. En algunas ocasiones, ambos corrieron la misma distancia sólo que en tiempos diferentes. En otras ocasiones, los tiempos fueron los mismos pero el otro coche recorrió una distancia mayor. Por último, hubo unos cuantos experimentos durante los cuales ni las distancias ni los tiempos fueron los mismos. Después de cada recorrido, Piaget les preguntó a sus sujetos qué coche se había movido más rápido y por qué.

Al considerar la forma en que los niños respondieron a las preguntas, atenderé solamente a un grupo intermedio, de edad suficiente como para aprender algo de los experimentos y lo bastante joven como para que sus respuestas no fuesen todavía las de los adultos. En la mayoría de las ocasiones, los niños de este grupo dijeron que "era más rápido" el auto que llegaba primero a la meta o que se había mantenido a la cabeza durante la mayor parte del movimiento. Además, continuaron aplicando de esta manera el término aun cuando reconocieron que el "más lento" había recorrido más distancia que "el más rápido" durante la misma cantidad de tiempo. Examínese, por ejemplo, una ocasión en que ambos coches partieron de la misma línea, pero el coche rojo un poco después, para luego alcanzar al azul en la meta. El diálogo siguiente es, pues, típico:

—¿Salieron los dos coches al mismo tiempo?
—No, el azul salió primero.
—¿Llegaron juntos?
—Sí.
—¿Uno de ellos fue más rápido, o los dos fueron iguales?
—El azul fue el más rápido.[4]

Estas respuestas manifiestan lo que, para simplificar, llamaré el criterio de "llegar a la meta" para la aplicación del calificativo "más rápido".

Si el de llegar a la meta fuese el único criterio empleado por los niños de Piaget, entonces los experimentos no nos dirían nada nuevo. Concluiríamos que su concepto de "más rápido" era diferente al del

[3] J. Piaget, *Les notions de mouvement et de vitesse chez l'enfant* (París, 1946), particularmente los caps. 6 y 7. Los experimentos descritos más adelante aparecen en el último capítulo.

[4] *Ibid.*, p. 160, traducción mía.

adulto, pero que, como lo empleaban consecuentemente, sólo la intervención de las autoridades paternal o pedagógica tendría probabilidad de inducir el cambio. Pero otros experimentos revelan la existencia de otro criterio, y también el experimento que se acaba de describir lo hace así. Casi inmediatamente después de la ocasión descrita, se reajustó el aparato para que el coche rojo partiera mucho después que el azul y luego se moviera con la rapidez necesaria para alcanzar a este último en la meta. En este caso, ocurrió el diálogo siguiente entre el experimentador y el mismo niño:

—¿Uno de los coches fue más rápido que el otro?

—El rojo.

—¿Cómo lo sabes?

—*Lo vi.*[5]

Al parecer, cuando los movimientos son bastante rápidos, pueden ser percibidos como tales directamente por los niños. (Compárese la forma en que los adultos "ven" el movimiento del segundero de un reloj con la forma en que observan el cambio de posición del minutero.) A veces, los niños aplican esa percepción directa del movimiento para identificar el coche más rápido. A falta de un mejor término, le llamaré al criterio correspondiente "borrosidad perceptual".

La coexistencia de estos dos criterios, el de llegar a la meta y el de borrosidad perceptual, es lo que hace posible que los niños aprendan en el laboratorio de Piaget. Aun sin el laboratorio, tarde o temprano la naturaleza les enseñaría la misma lección que a los niños de más edad del grupo de Piaget. No muy a menudo —o, si no, los niños no habrían conservado tanto tiempo el concepto—, pero sí ocasionalmente, la naturaleza presentará una situación en que, a pesar de que un cuerpo tenga una velocidad menor percibida directamente, llegará primero a la meta. En este caso, los dos indicios entran en conflicto: el niño puede verse obligado a decir que ambos cuerpos son "más rápidos" o "más lentos", o bien que el mismo cuerpo es tanto "más rápido" como "más lento". Tan paradójica experiencia se produce en el laboratorio de Piaget, a veces con resultados sorprendentes. Expuestos a un solo experimento paradójico, los niños dirán primero que uno de los cuerpos fue "más rápido" y luego aplicarán de inmediato el mismo calificativo al otro. Sus respuestas terminarán por depender críticamente de

[5] *Ibid.*, p. 161, *cursivas del autor.* En este pasaje traduje *plus fort* (más fuerte) como más rápidamente; en el pasaje anterior, la redacción en francés era *plus vite* (más veloz). Los propios experimentos indican, sin embargo, que en este contexto y aunque quizá no en todos las respuestas a las preguntas *plus fort?* y *plus vite?* son las mismas.

diferencias menores del arreglo experimental y de la forma de hacer las preguntas. Por último, al darse cuenta de la oscilación, aparentemente arbitraria, de sus respuestas, los niños más listos o los mejor preparados descubrirán o inventarán el concepto adulto de "más rápido". Con un poco más de práctica, algunos de ellos lo emplearán consecuentemente de ahí en adelante. Éstos serán los niños que habrán aprendido de su asistencia al laboratorio de Piaget.

Pero, volviendo a las preguntas que motivaron esta indagación, ¿qué es lo que diremos que han aprendido y de dónde lo han aprendido? Por el momento, me limitaré a una serie mínima y bastante condicional de respuestas que brindarán el punto de partida para la siguiente sección. Como incluía dos criterios independientes aplicables a la relación conceptual de "más rápido", el aparato mental con que llegaron los niños al laboratorio de Piaget contenía una contradicción implícita. En el laboratorio, el efecto de una situación novedosa, que incluye tanto exposiciones como interrogatorios, obligó a los niños a darse cuenta de esa contradicción. Como resultado, algunos de ellos cambiaron su concepto de "más rápido", quizá bifurcándolo. El concepto original se dividió en algo así como la noción adulta de "más rápido" y en un concepto distinto de "llegar a la meta primero". El aparato conceptual de los niños probablemente se enriqueció e hizo más adecuado a los hechos. Los niños aprendieron a evitar un error conceptual significativo y, por lo tanto, a pensar con más claridad.

Estas respuestas nos llevan a otra, pues indican la condición aislada que las situaciones experimentales de Piaget deben satisfacer para alcanzar una meta pedagógica. Claro está, esas situaciones no pueden ser arbitrarias. Por cualesquier razones, un psicólogo podría preguntarle a un niño qué es más rápido, si un árbol o una col; y hasta es probable que obtuviera una respuesta;[6] pero con ello el niño no aprendería a pensar con más claridad. Para lograr esto, lo menos que debe tener la situación es que venga al caso. Esto es, debe mostrar los indicios que el niño emplea cotidianamente para hacer juicios de velocidad relativa. Por otro lado, si bien los indicios deben ser normales, la situación total no tiene por qué serlo. Enfrentado a una caricatura animada que muestre los movimientos paradójicos, el niño llegaría a las mismas conclusiones acerca de sus conceptos, aunque la propia naturaleza estuviese regida por la ley de que los cuerpos más

[6] Charles E. Osgood empleó preguntas como éstas para obtener lo que llama el "perfil semántico" de varias palabras. Véase su reciente libro, *The Measurement of Meaning* (Urbana, Ill., 1957).

rápidos son los que llegan siempre primero a la meta. No hay, pues, condición alguna de verosimilitud física. El experimentador puede imaginar la situación que le plazca mientras ésta le permita la aplicación de los indicios normales.

Volvamos ahora a nuestro caso histórico, en general semejante al anterior, de revisión de conceptos. Éste fue impulsado por el análisis detenido de una situación imaginada. Como los niños del laboratorio de Piaget, la *Física* de Aristóteles y la tradición proveniente de ella evidencia de los dos criterios dispares empleados en los análisis de la velocidad. El punto general es bien conocido, pero aquí lo aislaremos para que se destaque. En la mayoría de las ocasiones, Aristóteles considera el movimiento o cambio —en su física los dos términos suelen ser intercambiables— como un cambio de estado. Entonces, "todo cambio es de algo a algo; así lo indica la propia palabra *metabole*".[7] La reiteración que Aristóteles hace de enunciados como éste indica que, normalmente, ve todo movimiento no celeste como un acto completo y finito que se ha de captar en conjunto. Correspondientemente, mide la cantidad y la velocidad de un movimiento en función de los parámetros que describen sus puntos terminales: los *termini a quo* y *ad quem* de la física medieval.

Las consecuencias de la noción aristotélica de la velocidad son tan inmediatas como obvias. Como él mismo lo asegura: "La más rápida de dos cosas recorre una magnitud mayor en un tiempo igual, una magnitud igual en menos tiempo y una magnitud mayor en menos tiempo."[8] O, en otra parte: "Hay una velocidad igual cuando se cumple *el mismo* cambio en igual tiempo."[9] En estos pasajes, como en muchas otras partes de los escritos de Aristóteles, la noción implícita de velocidad es muy parecida a lo que llamamos "velocidad promedio", cantidad que igualamos al cociente de la distancia total entre el total del tiempo transcurrido. Como el criterio de llegar a la meta del niño, esta manera de juzgar la velocidad difiere de la nuestra. Pero tal diferencia puede no ser perjudicial si se emplea consecuentemente el criterio de velocidad promedio.

Sin embargo, como los niños de Piaget, Aristóteles, desde la perspectiva moderna, no es consecuente. Parece poseer además un crite-

[7] Aristóteles, *Physica*, trad. al inglés de R. P. Hardie y R. K. Gaye, en *The Works of Aristotle*, vol. 2 (Oxford, 1930), 224^{b} 35-225^{a}1.

[8] *Ibid.*, 232^{a}25-27

[9] *Ibid.*, 249^{b}4-5.

rio como el de borrosidad perceptual del niño, para juzgar la velocidad. En particular, distingue a veces entre la velocidad de un cuerpo cerca del principio y cerca del final de su movimiento. Por ejemplo, al distinguir los movimientos naturales o no forzados, que terminan en el reposo, de los movimientos violentos, que requieren de un motor externo, asegura: "Pero mientras que la velocidad del que termina por detenerse parece aumentar siempre, la velocidad del que es impulsado violentamente parece decrecer siempre."[10] Aquí, como en otros cuantos pasajes por el estilo, no se mencionan los puntos terminales, ni la distancia recorrida, ni el tiempo transcurrido. En lugar de ello, Aristóteles está tomando directamente, y quizá en forma perceptual, un aspecto del movimiento al que nosotros llamaríamos "velocidad instantánea" y cuyas propiedades son muy diferentes de las de la velocidad promedio. Pero Aristóteles no hace tal distinción. En realidad, como veremos, los aspectos sustanciales más importantes de su física están condicionados por esta falta de distinción. En consecuencia, los que recurren al concepto aristotélico de velocidad pueden verse enfrentados a paradojas muy semejantes a las que Piaget encontró en sus niños.

En un momento examinaremos al experimento imaginario al que recurrió Galileo para poner de manifiesto estas paradojas, pero primero debemos hacer notar que en la época de Galileo el concepto de velocidad ya no era el de Aristóteles. Las bien conocidas técnicas analíticas desarrolladas durante el siglo XIV para tratar las latitudes de las formas, habían enriquecido el aparato conceptual que tenían a su disposición los estudiosos del movimiento. En particular, se había introducido la distinción entre la velocidad total del movimiento, por un lado, y, por el otro, la de la intensidad de la velocidad en cada punto del movimiento. El segundo de estos conceptos era muy semejante a la noción moderna de velocidad instantánea; el primero, aunque sólo después de las importantes revisiones a que lo sometió Galileo, fue un gran paso hacia el concepto contemporáneo de velocidad promedio.[11] Parte de la paradoja implícita en el concepto aristotélico de velocidad fue eliminada durante la Edad Media, dos siglos y medio antes de los escritos de Galileo.

[10] *Ibid.*, 230^{b}23-25.

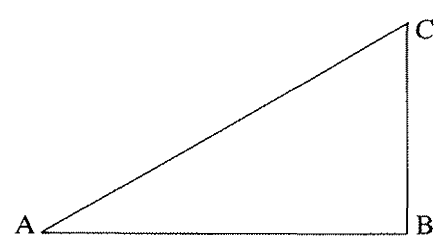
[11] Para una discusión detallada de todo el asunto de la latitud en las formas, véase Marshall Clagett, *The Science of Mechanics in the Middle Ages* (Madison, Wis., 1959), parte 2.

Esa transformación de conceptos ocurrida durante la Edad Media fue, sin embargo, incompleta en uno de sus aspectos más importantes. La latitud de las formas podía usarse para comparar dos movimientos diferentes sólo cuando ambos tenían la misma "extensión", es decir, cuando ambos habían cubierto la misma distancia, o bien empleado el mismo tiempo. El enunciado que Richard Swineshead hace de la regla mertoniana podría servir para evidenciar esta limitación tan a menudo omitida: si fuese adquirido uniformemente un incremento de velocidad, entonces, "mediante ese incremento, se recorrería tantó espacio . . . como por medio de la velocidad promedio [o intensidad de la velocidad] de ese incremento, suponiendo que algo se moviera con esa magnitud media [de velocidad] durante todo el tiempo".[12] Aquí, el tiempo transcurrido debe ser el mismo para ambos movimientos, o, si no, se desbarataría la técnica de comparación. Si el tiempo transcurrido fuese diferente, entonces un movimiento uniforme de intensidad baja, pero larga duración, tendría una velocidad total mayor que un movimiento más intenso —es decir, con velocidad instantánea mayor— que durase un tiempo más corto. En general, los analistas medievales del movimiento evitaron esta posible dificultad limitando su atención a comparaciones con las técnicas que podían manejar. Galileo, sin embargo, necesitó una técnica más general y, para desarrollarla —o al menos para enseñársela a otros—, empleó un experimento imaginario que sacó a luz la paradoja aristotélica. Tenemos dos razones para afirmar que la dificultad seguía vigente durante el primer tercio del siglo XVII. Una de ellas es la agudeza pedagógica de Galileo; su texto se dirigió a problemas reales. La más impresionante, quizá, consiste en el hecho de que Galileo no siempre tuvo éxito en evadir la propia dificultad.[13]

[12] *Ibid.*, p. 290.

[13] El más significativo lapso de esta clase está en "The Second Day" de los *Dialogue concerning the Two Chief World Systems* de Galileo (véase la traducción de Stillman Drake [Berkeley 1953], pp. 199-201). Galileo argumenta allí que ningún cuerpo material, por ligero que sea, puede ser arrojado de la Tierra en rotación, ni aun cuando ésta girase más rápido de lo que lo hace. Tal resultado (que requiere el sistema de Galileo —su lapso, aunque de seguro no deliberado, sí tiene motivo—) se obtiene tratando la velocidad terminal de un movimiento uniformemente acelerado como si fuese proporcional a la distancia recorrida con ese movimiento. La proporción es, desde luego, una consecuencia directa de la regla de Merton, pero se aplica solamente a los movimientos que requieren el mismo tiempo. Deben examinarse también las notas de Drake a este pasaje, ya que arrojan una interpretación diferente.

El experimento que aquí nos interesa aparece casi al principio de "El primer día", de la obra de Galileo *Diálogo sobre los dos sistemas máximos del mundo.*[14] Salviati, que representa a Galileo, les pide a sus dos interlocutores que imaginen dos planos, CB vertical y CA inclinado, ambos levantados hasta la misma distancia vertical sobre un plano horizontal, AB. Para auxiliar a la imaginación, Salviati incluye una figura como la que se muestra aquí. A lo largo de estos dos



planos, hay que imaginar dos cuerpos que resbalan o ruedan sin fricción desde un punto de partida común, C. Por último, Salviati les pide a sus interlocutores que le concedan que, cuando los cuerpos que se deslizan llegan a los puntos A y B, respectivamente, ésos habrán adquirido el mismo ímpetu o velocidad, esto es, la velocidad necesaria para devolverlos a su punto de partida.[15] Le es concedida también esa petición, y Salviati procede a preguntarles a los participantes en el diálogo cuál de los dos cuerpos se mueve más rápido. Lo que pretende es que ellos se den cuenta de que, empleando el concepto de velocidad que entonces se usaba, pueden verse forzados a admitir que el movimiento a lo largo de la perpendicular es, simultáneamente, más rápido, igual y más lento, que el movimiento a lo largo del plano inclinado. Su segundo objeto consiste en, por el efecto de esta paradoja, hacer que sus interlocutores y sus lectores se percaten de que la velocidad no debiera atribuirse al conjunto de un movimiento sino, más bien, a sus partes. En suma, el experimento imaginario es, como el propio Galileo lo señala, una propedéutica para la discusión íntegra del movimiento uniforme y del acelerado, que expone en "El tercer discurso" de sus *Dos nuevas ciencias*. Condensaré y sistematizaré consi-

[14] *Ibid.*, pp. 22-27.

[15] Galileo se vale de esa concesión mucho menos que yo en el párrafo que sigue. En rigor, su argumento no depende de ella si el plano CA puede extenderse más allá de A y si el plano que rueda a lo largo del plano extendido continúa ganando velocidad. Para simplificar, restringiré mi recapitulación sistematizada al plano no prolongado, siguiendo la tónica marcada por Galileo en la primera parte de su texto.

derablemente su argumentación, ya que no viene al caso consignar aquí las incidencias del diálogo. Cuando les pregunta por primera vez cuál de los dos cuerpos es el más rápido, los interlocutores le dan la respuesta que ya bosquejamos y que los físicos presentes en esta conferencia deben conocer mejor. El movimiento a lo largo del plano perpendicular, dicen ellos, es obviamente el más rápido.[16] Aquí se combinan dos de los tres criterios que ya se describieron. Aunque ambos cuerpos están en movimiento, el que se mueve a lo largo del plano perpendicular es el "más borroso". Además, el movimiento perpendicular es el que llega primero a la meta.

Pero esta respuesta, tan obvia como atractiva, hace surgir de inmediato dificultades que son reconocidas primero por el más listo de los interlocutores, Sagredo. Señala —o casi, pues esta parte de la discusión la estoy haciendo algo más articulada que en el original— que la respuesta es incompatible con la concesión inicial. Ya que ambos cuerpos parten del reposo y dado que ambos adquieren la misma velocidad final, deben tener la misma velocidad media. ¿Cómo puede ser entonces uno más rápido que el otro? En este punto, Salviati reinicia la discusión, recordándoles a sus escuchas que el más rápido de dos movimientos suele definirse como el que abarca la misma distancia en un tiempo menor. Parte de la dificultad, sugiere, nace del intento por comparar dos movimientos que abarcan distancias diferentes. En lugar de ello, les indica, quienes están participando en el diálogo debieran comparar los tiempos que los dos cuerpos necesitan para recorrer una distancia patrón. Como patrón, selecciona la longitud del plano vertical CB.

Desgraciadamente, el problema empeora. CA es mayor que CB, y la respuesta a la pregunta de cuál cuerpo se mueve más rápido vuelve a depender críticamente del lugar en donde, a lo largo del plano inclinado CA, se mida la distancia patrón CB. Si se mide desde la parte más alta del plano inclinado, entonces el cuerpo que se mueve sobre el plano perpendicular concluirá su movimiento en menos tiempo del que el cuerpo que se desplaza por el plano inclinado necesita para recorrer una distancia igual a CB. Por consiguiente, el movimiento a lo largo del plano perpendicular es más rápido. Por otra parte, si la distancia patrón se mide desde la parte más baja del plano inclinado, entonces el

[16] Quienquiera que dude de que ésta es una respuesta tentadora y natural puede hacerle la pregunta de Galileo, como hice yo, a estudiantes graduados de física. A menos que desde antes ya sepan de qué se trata, muchos de ellos darán la misma respuesta que los interlocutores de Salviati.

cuerpo que se mueve sobre el plano perpendicular necesitará más tiempo para completar su recorrido, que el cuerpo que se mueve sobre el plano inclinado para recorrer la misma distancia patrón. Por lo tanto, el movimiento a lo largo del plano perpendicular es más lento. Por último, argumenta Salviati, si la distancia CB se mide entre puntos interiores del plano inclinado, entonces serán iguales los tiempos necesarios para que ambos cuerpos recorran las dos distancias patrón. El movimiento sobre el plano perpendicular posee la misma rapidez que el correspondiente al plano inclinado. En este punto, el diálogo ha dado lugar a tres respuestas para una sola pregunta relativa a una sola situación, y cada una de las tres respuestas es incompatible con las otras dos.

Desde luego, el resultado es una paradoja, y ésta es la forma, o una de las formas, en que Galileo preparó a sus contemporáneos para un cambio de los conceptos empleados al discutir, analizar o experimentar en relación con el movimiento. Aunque los nuevos conceptos no llegaron al público hasta la aparición de *Dos nuevas ciencias,* el *Diálogo* muestra ya hacia dónde se dirige la discusión. "Más rápido" y "velocidad" son términos que ya no deben ser usados a la manera tradicional. Puede decirse que, en un instante dado, un cuerpo tiene una velocidad instantánea mayor de la que en ese mismo instante o en otro posee otro cuerpo. Puede decirse que un determinado cuerpo recorre una distancia dada con más rapidez que otro que recorre la misma distancia u otra. Pero en esos dos enunciados no se describen las mismas características del movimiento. "Más rápido" significa algo distinto cuando se le aplica, por un lado, a la comparación de la rapidez instantánea del movimiento en instantes determinados y, por el otro, a la comparación de los tiempos necesarios para que se complete el total de dos movimientos especificados. Así, un cuerpo puede ser "más rápido" en un sentido, pero no en el otro.

El experimento imaginario de Galileo ayudó a enseñar esa forma conceptual, y por ello podemos plantear nuestras preguntas anteriores acerca de tal clase de experimentos. Claro está que las respuestas mínimas son las mismas que se obtuvieron al examinar el resultado de los experimentos de Piaget. Los conceptos que Aristóteles aplicó al estudio del movimiento fueron, en parte, contradictorios consigo mismos, y esa contradicción no había desaparecido totalmente durante la Edad Media. El experimento imaginario de Galileo sacó a luz la dificultad, confrontando a sus lectores con la paradoja implícita en sus maneras de pensar. Como consecuencia, los ayudó a modificar sus aparatos conceptuales.

Si es cierto lo anterior, entonces podemos ver también el criterio de verosimilitud al cual debe conformarse necesariamente el experimento imaginario. Para el argumento de Galileo, no entraña diferencia alguna que los cuerpos se muevan o no realmente con movimiento uniformemente acelerado sobre los planos inclinado y vertical. Ni siquiera importa que, cuando las alturas de estos planos son las mismas, los dos cuerpos terminen o no por alcanzar verdaderamente velocidades instantáneas iguales. Galileo ni siquiera se molesta por argumentar sobre estos puntos. Para su finalidad de esta parte del *Diálogo*, le basta con que podamos suponer que tal es el caso. Por otro lado, de aquí no se desprende que sea arbitraria la elección de la situación experimental hecha por Galileo. Por ejemplo, no le habría sido útil sugerir que considerásemos una situación en que el cuerpo se desvanecía al comienzo de su movimiento en C para luego reaparecer en A, sin haber atravesado la distancia entre esos puntos. Ese experimento ilustraría limitaciones en la aplicabilidad de "más rápido", pero, al menos hasta el reconocimiento de los saltos cuánticos, esas limitaciones no habrían dado ninguna información útil. De ellas, ni nosotros ni los lectores de Galileo hubiéramos aprendido nada sobre los conceptos empleados tradicionalmente. Nunca se intentó aplicar esos conceptos a un caso tal. En fin, para que esta clase de experimento imaginario sea eficaz, deberá permitir que quienes lo realizan o estudian empleen los conceptos de las mismas maneras que los han empleado antes. Sólo cuando se satisface esa condición puede el experimento imaginario enfrentar a su público con consecuencias imprevistas de sus operaciones conceptuales normales.

Hasta este punto, las partes esenciales de mi argumento han estado condicionadas por lo que tomo como una posición filosófica tradicional en el análisis del pensamiento científico desde, por lo menos, el siglo XVII. Para que un experimento imaginario sea eficaz, debe presentar, como ya vimos, una situación normal, esto es, una situación que la persona que analiza el experimento, con base en su experiencia, se sienta bien equipada para manejar. Nada acerca de la situación imaginada puede ser completamente desconocido ni extraño. Por consiguiente, si el experimento depende, como debe ser, de la experiencia con la naturaleza, esa experiencia debe ser familiar en términos generales antes de que se inicie el experimento. Este aspecto de la situación experimental imaginada parece haber dictado una de las conclusiones a las que he llegado regularmente. Como no contiene ninguna

información nueva sobre el mundo, un experimento imaginario no puede enseñar nada que no sea ya conocido. O, dicho de otro modo, no puede enseñar nada sobre el mundo. En lugar de ello, le enseña al científico algo acerca de su aparato mental. Su función está limitada a la corrección de errores conceptuales.

Sospecho, sin embargo, que algunos historiadores de la ciencia pueden sentirse perturbados por esta conclusión e imagino que otros deben de estarlo. De alguna manera, hace recordar demasiado la posición familiar que considera que la teoría de Tolomeo, la teoría del flogisto o la del calórico son meros errores, confusiones o dogmas que una ciencia más liberal o inteligente hubiese evitado desde el principio. En el clima de la historiografía contemporánea, evaluaciones como éstas se han venido volviendo cada vez menos plausibles, y ese mismo aire de implausibilidad contamina la conclusión que se ha sacado en este artículo. Aristóteles, aunque no fue un físico experimental, sí fue un lógico brillante. ¿Habría cometido él en una materia tan fundamental como su física un error tan elemental como el que le hemos atribuido? O, de haberlo hecho él, ¿hubieran seguido incurriendo sus sucesores en el mismo error elemental, durante casi dos milenios? ¿Puede una confusión lógica difundirse por todas partes, y puede ser la función de los experimentos imaginarios tan trivial como lo da a entender este punto de vista? Creo que la respuesta a todas estas preguntas es no; y que la raíz de la dificultad es nuestra suposición de que, por basarse exclusivamente en datos bien conocidos, los experimentos imaginarios no pueden enseñar nada acerca del mundo. Aunque el vocabulario epistemológico contemporáneo no proporciona locuciones verdaderamente útiles, deseo argumentar ahora que, de los experimentos imaginarios, la mayoría de la gente aprende algo acerca de sus conceptos y también algo acerca del mundo. Al aprender algo acerca del concepto de velocidad, los lectores de Galileo aprenden también algo acerca de cómo se mueven los cuerpos. Lo que les ocurre a ellos es muy parecido a lo que le ocurre a un hombre como Lavoisier, que debe asimilar el resultado de un descubrimiento experimental no esperado.[17]

Al enfocar esta serie de puntos centrales, comienzo por preguntar qué es lo que se quiere decir cuando describimos el concepto infantil de

[17] Tal comentario presupone un análisis de la manera como se dan los descubrimientos: sobre esto, véase mi artículo "The Historical Structure of Scientific Discovery", *Science*, 136 (1962): 760-764.

más rápido y el concepto aristotélico de velocidad como "contradictorios en sí" o "confusos". "Contradictorio en sí" sugiere por lo menos que estos conceptos son como el famoso ejemplo del lógico, el círculo cuadrado, pero que no pueden ser correctos. El círculo cuadrado es contradictorio en sí en el sentido de que no puede ser ejemplificado en ningún mundo posible. Ni siquiera es posible imaginar un objeto que muestre las cualidades esenciales. Pero ni el concepto de los niños ni el de Aristóteles son contradictorios en ese sentido. El concepto infantil de más rápido es ilustrado repetidas veces en nuestro propio mundo; la contradicción surge sólo cuando se enfrenta al niño con esa clase de movimiento, relativamente rara, en que el objeto *más* borroso perceptualmente se *retrasa* en alcanzar la meta. Del mismo modo, el concepto aristotélico de velocidad, con sus dos criterios simultáneos, puede aplicarse sin dificultad a la mayoría de los movimientos que vemos en torno nuestro. Los problemas surgen solamente con respecto a esa clase de movimientos, muy raros también, en que el criterio de velocidad instantánea y el criterio de velocidad promedio llevan a respuestas contradictorias al ser aplicados a juicios cualitativos. En estos dos casos, los conceptos son contradictorios únicamente en el sentido de que el individuo que los emplea *corre el riesgo* de caer en contradicciones intrínsecas. Esto es, puede encontrarse en una situación en la que se vea forzado a dar respuestas incompatibles a la misma pregunta.

Desde luego, no es esto lo que por lo regular se quiere decir cuando el calificativo de "contradictorio en sí" se le aplica a un concepto. Sin embargo, bien puede ser eso lo que tenemos en mente cuando describimos los conceptos examinados como "confusos" o "impropios del pensamiento claro". Ciertamente, esos términos se amoldan mejor a la situación. Implican, sin embargo, una norma de claridad y adecuación que quizá no tengamos derecho de aplicar. ¿Debiéramos demandar de nuestros conceptos —cosa que no hacemos ni podríamos hacer con nuestras leyes y teorías— que fuesen aplicables a todas y cada una de las situaciones que pudiesen presentarse concebiblemente en cualquier mundo posible? ¿No es suficiente con exigir de un concepto —como lo hacemos con una ley o una teoría— que sea aplicable inequívocamente a toda situación con la que esperemos encontrarnos?

Para apreciar la pertinencia de estas preguntas, imaginemos un mundo en el que todos los movimientos ocurriesen a velocidad uniforme. (Tal condición es más rigurosa de lo necesario, pero aclarará el argumento. La condición esencial más débil es que ningún cuerpo que

es "más lento" conforme a ningún criterio sobrepasará nunca a un cuerpo "más rápido". Los movimientos que satisfacen esta condición recibirán el nombre de "cuasiuniformes".) En un mundo de esa suerte, el concepto aristotélico de velocidad nunca sería puesto en tela de juicio por una situación física real, pues las velocidades instantánea y promedio de cualquier movimiento serían siempre las mismas.[18] ¿Qué diríamos entonces si nos encontrásemos a un científico que emplease, en este mundo imaginario, el concepto aristotélico de velocidad? Creo que no diríamos que estaba equivocado. No habría nada erróneo ni en su ciencia ni en su lógica por causa de la aplicación de su concepto. En lugar de ello, dada nuestra experiencia, más amplia, y nuestro aparato conceptual, correspondientemente más rico, diríamos que, consciente o inconscientemente, habría incorporado en su concepto de velocidad su expectativa de que en ese mundo únicamente podrían ocurrir movimientos uniformes. Es decir, llegaríamos a la conclusión de que su concepto funcionaría en parte como ley de la naturaleza, ley que sería satisfecha regularmente en su mundo, pero que sólo ocasionalmente sería satisfecha en el nuestro.

En el caso de Aristóteles, desde luego, no podríamos decir lo mismo. Él supo, y ocasionalmente admitió, que los cuerpos que caen, por ejemplo, aumentan su velocidad a medida que se mueven. Por otro lado, hay sobradas pruebas de que Aristóteles mantuvo esta información en la periferia misma de su conciencia científica. Siempre que pudo, y esto ocurrió frecuentemente, consideró uniformes los movimientos o poseedores de las propiedades del movimiento uniforme, y los resultados fueron consecuentes respecto de gran parte de su física. En la sección anterior, por ejemplo, examinamos un pasaje extraído de la *Física*, que puede tomarse por una definición de "movimiento más rápido": "La más rápida de dos cosas recorre una magnitud mayor en un tiempo igual, una magnitud igual en menos tiempo y una magnitud mayor en menos tiempo." Compárese esto con el pasaje que sigue inmediatamente: "Supóngase que A es más rápida que B. Ahora,

[18] Es posible imaginar también un mundo en que los dos criterios seguidos por los niños de Piaget nunca llevarían a contradicción, pero eso es más complejo, y entonces no recurriré a ello en la argumentación que sigue. Permítaseme, sin embargo, arriesgar una conjetura susceptible de prueba sobre la naturaleza del movimiento en ese mundo. A menos que imiten a sus compañeros, los niños que ven el movimiento de la manera descrita deben ser relativamente insensibles a la importancia de un *handicap* impuesto al ganador de una carrera. Y, en lugar de ello, todos deberían confiar en la violencia con que se moverían los brazos y las piernas.

como de dos cosas la que cambia más pronto es la más rápida, en el tiempo FG, en el cual A ha cambiado de C a D, B no habrá llegado todavía a D, pero estará a punto de hacerlo."[19] Este enunciado ya no es una definición. Se refiere al comportamiento físico de cuerpos "más rápidos", y como tal es válido para cuerpos que están en movimiento uniforme o cuasiuniforme.[20] El propósito fundamental del experimento imaginario de Galileo es el de demostrar cómo este enunciado y otros por el estilo —enunciados que parecen desprenderse inevitablemente de la única definición a la que apoyará el concepto tradicional de "más rápido"— no se mantienen en el mundo que conocemos y que, por tanto, debe modificarse el concepto. No obstante, Aristóteles introduce profundamente en la trama de su sistema su propia idea de movimiento cuasiuniforme. Por ejemplo, en el párrafo que sigue a los que se acaban de citar, emplea esos enunciados para demostrar que, si el tiempo lo es, el espacio también debe ser continuo. Su argumento depende de la suposición, ya implícita, de que, si un cuerpo B se retrasa respecto de otro A al final de un movimiento, estará retrasado en todos los puntos intermedios. En ese caso, B puede usarse para dividir el espacio y A para dividir el tiempo. Si uno es continuo, el otro debe serlo también.[21] Pero, por desgracia, la suposición no tiene que mantenerse si, por ejemplo, el movimiento más lento es de desaceleración y el más rápido de aceleración; sin embargo, Aristóteles no necesita desechar los movimientos de esa suerte. Aquí, de nuevo, su argumento depende de que atribuye a todos los movimientos las propiedades cualitativas del cambio uniforme.

Está implícito el mismo punto de vista acerca del movimiento en los argumentos en los cuales Aristóteles desarrolla sus llamadas leyes cuantitativas del movimiento.[22] Considérese, por ejemplo, única-

[19] Aristóteles, *Works*, 2:232ª28-31.

[20] Claro está que en realidad el primer pasaje no puede ser una definición. Cualquiera de las tres condiciones mencionadas allí podría desempeñar tal función, pero tomar por equivalentes a las tres, como hace Aristóteles, tiene las mismas implicaciones físicas que ilustro aquí partiendo del segundo pasaje.

[21] Aristóteles, *Works*, 2:232ᵇ21-233ª13.

[22] Estas leyes se describen siempre como "cuantitativas", y yo me apego a ese uso. Pero es difícil creer que resultarían ser cuantitativas en el sentido que ese término tiene desde la época de Galileo en los estudios del movimiento. Tanto en la antigüedad como en la Edad Media, los hombres que pensaban regularmente en que la medición era pertinente a la astronomía y que ocasionalmente recurrían a ella en sus trabajos sobre óptica discutieron estas leyes sin siquiera una referencia velada a alguna clase de

mente la dependencia de la distancia cubierta con respecto a la magnitud del cuerpo y con respecto al tiempo transcurrido: "Si, entonces, A, el impulsor, ha movido B una distancia C en un tiempo D, se tendrá que en el mismo tiempo la misma fuerza A moverá ½B dos veces la distancia C, y en ½ D moverá un ½ B la distancia total C; pues así serán observadas las reglas de la proporción."[23] Dadas la fuerza y el medio, la distancia cubierta varía directamente con el tiempo e inversamente con el tamaño del cuerpo.

Para los oídos modernos, ésta es inevitablemente una ley extraña, aunque quizá no tanto como parece ser comúnmente.[24] Pero, dado el concepto aristotélico de velocidad —concepto que no causa problemas en la mayoría de sus aplicaciones—, se ve fácilmente que es la única ley posible. Si el movimiento es tal que la velocidad promedio y la velocidad instantánea son idénticas, entonces, *ceteris paribus*, la distancia cubierta debe ser proporcional al tiempo. Si, además, suponemos con Aristóteles —y Newton— que "dos fuerzas, cada una de las cuales mueve uno de los dos pesos una distancia dada en un tiempo dado, . . . moverán los pesos combinados una distancia igual en un tiempo igual", entonces la velocidad debe ser una función de la razón de la fuerza al tamaño del cuerpo.[25] La ley de Aristóteles se infiere directamente, suponiendo que, de entre todas las posibles, la función es la más simple, la propia razón. Quizá ésta no parezca una manera legítima de llegar a las leyes del movimiento, pero muy a menudo los procedimientos de Galileo fueron idénticos.[26] A este respecto, lo que

observación cuantitativa. Además, las leyes no se aplican nunca a la naturaleza, salvo en argumentaciones basadas en la reducción al absurdo. A mí, sus intentos me parecen de índole cualitativa: son el enunciado, para emplear el vocabulario correcto de las proporciones, de varias regularidades cualitativas observadas propiamente. Esta idea parecerá más plausible si se recuerda que después de Eudoxio aun las proporciones geométricas se interpretaron como no numéricas.

[23] Aristóteles, *Works*, 2: 249ᵇ30-250ᵃ4.

[24] Para una crítica fundada a quienes consideran que esta ley es sencillamente tonta, véase Stephen Toulmin, "Criticism in the History of Science: Newton on Absolute Space, Time and Motion, I", *Philosophical Review*, 68 (1959): 1-29, particularmente la nota 1.

[25] Aristóteles, *Works*, 2: 250ᵃ25-28.

[26] Por ejemplo: "Cuando, por consiguiente, observo que, a partir de un estado de reposo, cae una piedra desde una posición elevada y que continuamente adquiere nuevos incrementos de velocidad, ¿por qué no voy a creer que tales incrementos ocurren de una manera que es exageradamente simple y bastante obvia para todos? Si ahora examinamos cuidadosamente el asunto, no encontraremos adición o incremento más simple que el que se repite siempre de la misma manera." Cf. Galileo Galilei, *Dialogues*

diferenció principalmente a Galileo de Aristóteles fue que el primero partió de una concepción de velocidad diferente. Como él no consideró cuasiuniformes todos los movimientos, la velocidad no fue la única medida del movimiento que podía cambiar con la fuerza aplicada el tamaño del cuerpo, y así por el estilo. Galileo pudo tomar en cuenta también las variaciones de la aceleración.

Esos ejemplos podrían multiplicarse considerablemente, pero ahora ya está claro a dónde quiero llegar. El concepto aristotélico de velocidad, en el cual estuvieron mezclados los conceptos modernos y distintos de velocidad promedio y velocidad instantánea, fue parte integral de toda su teoría del movimiento y tuvo consecuencias para la totalidad de su física. Pudo desempeñar ese papel porque no era simplemente una definición, confusa o de otra manera. En lugar de ello, tuvo implicaciones físicas y, en parte, actuó como ley de la naturaleza. Esas implicaciones pudieron no haber sido impugnadas nunca por la observación ni por la lógica en un mundo en el que todos los movimientos hubieran sido uniformes o cuasiuniformes, y Aristóteles actuó como si viviese en un mundo de esa índole. Su mundo, en realidad, era diferente; pero, a pesar de ello, su concepto fue tan eficaz que los conflictos potenciales con la observación pasaron por completo inadvertidos. Y, mientras tanto —mientras no cobraron realidad las dificultades potenciales de la aplicación del concepto—, no podemos calificar propiamente de confuso el concepto aristotélico de velocidad. Podemos decir, desde luego, que era "erróneo" o "falso" en el mismo sentido en que aplicamos estos términos a leyes y teorías extemporáneas. Podemos decir además que, por ser falso el concepto, los hombres que lo emplearon *estuvieron propensos a caer en la confusión*, como les ocurrió a los interlocutores de Salviati. Pero creo que no podemos encontrar defectos intrínsecos en el propio concepto. Sus defectos no estriban en su consistencia lógica sino en que no encaja en la totalidad de la estructura fina del mundo al cual se pretendía aplicar. Por esto es que aprender a reconocer sus defectos fue, necesariamente, aprender algo acerca del mundo y también acerca de concepto.

Si el contenido legislativo de cada uno de los conceptos parece ser una noción nada familiar, esto se debe probablemente al contexto dentro del cual nos encontramos aquí. Aunque no estén completamente de acuerdo, los lingüistas han estado familiarizados con este punto desde hace mucho tiempo, a través de los escritos de B. L.

Concerning Two New Sciences, trad. al inglés de H. Crew y A. de Salvio (Evanston y Chicago, 1946), pp. 154-155. Pero Galileo sí hizo una verificación experimental.

Whorf.[27] Braithwaite, siguiendo a Ramsey, ha sentado una tesis parecida usando modelos lógicos para demostrar la mezcla inextricable de ley y definición que debe caracterizar incluso a la función de los conceptos científicos relativamente elementales.[28] Vienen más al caso todavía las recientes discusiones lógicas sobre el uso de las "oraciones de reducción" en la formación de los conceptos científicos. Éstas son oraciones que especifican —en forma lógica y que no nos incumbe aquí— las condiciones de observación o de prueba en las cuales puede aplicarse un concepto dado. En la práctica, se asemejan enormemente a los contextos en que se adquieren realmente los conceptos científicos en su mayoría, y esto hace particularmente significativas sus dos características principales. Primera, se requieren varias oraciones de reducción —a veces muchas— para darle a un determinado concepto el campo de aplicación que exige su uso dentro de la teoría científica. Segunda, tan pronto como se empieza a emplear más de una oración de reducción para introducir un solo concepto, resulta que esas oraciones implican "ciertos enunciados que poseen el carácter de leyes empíricas. . . Conjuntos de oraciones de reducción que combinan, de modo peculiar, las funciones del concepto y de la formación de la teoría".[29] Esta cita, con la frase que la precede, prácticamente describe la situación que estamos examinando aquí.

No es necesario, sin embargo, que hagamos toda la transición a la lógica y a la filosofía de la ciencia para reconocer la función legislativa de los conceptos científicos. En otro aspecto, ya es familiar para todos los historiadores que han estudiado detenidamente la evolución de conceptos como los de elemento, especie, masa, fuerza, espacio, calórico o energía.[30] Éstos y muchos otros conceptos científicos se

[27] B.L. Whorf, *Language, Thought, and Reality: Selected Writings*, John B. Carroll, compilador (Cambridge, Mass., 1956).

[28] R. B. Braithwaite, *Scientific Explanation* (Cambridge, 1953), pp. 50-87. Y véase también W. V. O. Quine, "Two Dogmas of Empiricism", en *From a Logical Point of View* (Cambridge, Mass., 1953), pp. 20-46.

[29] C. G. Hempel, *Fundamentals of Concept Formation in Empirical Science*, vol. 2 núm. 7, en la *International Encyclopedia of Unified Science* (Chicago, 1952). La discusión fundamental de las oraciones de reducción está en Rudolph Carnap, "Testability and Meaning", *Philosophy of Science*, 3 (1936): 420-471, y 4 (1937): 2-40.

[30] Los casos del calórico y de la masa son particularmente instructivos; el primero por su paralelismo con el caso analizado antes, y el segundo porque invierte la línea de desarrollo. Se dice muchas veces que Sadi Carnot obtuvo buenos resultados experimentales de la teoría del calórico porque en su concepto del calor se combinaban caracterís-

encuentran invariablemente dentro de una matriz de ley, teoría y expectativa, de la cual no pueden ser extraídos para definirlos. Para descubrir lo que significan, el historiador debe examinar tanto lo que se dice de ellos como la forma en que se emplean. Durante este proceso, descubre por lo regular varios criterios diferentes que gobiernan su empleo y cuya coexistencia sólo puede entenderse con respecto a muchas de las otras creencias científicas —y a veces extracientíficas— que guían a los hombres que los emplean. De esto se infiere que esos conceptos no estaban destinados a ser aplicados a cualquier mundo posible, sino tan sólo al mundo visto por el científico. El uso de ellos es un índice de su compromiso con un cuerpo mayor de ley y teoría. Por el contrario, el contenido legislativo de ese cuerpo mayor de creencias está implícito, en parte, en los propios conceptos. A esto se debe que, aunque muchos de ellos comparten sus historias con las de las ciencias a las que pertenecen, sus significados y sus criterios de uso hayan cambiado tan a menudo y tan drásticamente en el curso del desarrollo de la ciencia.

Por último, volviendo al concepto de velocidad, nótese que Galileo no hizo su reformulación de una sola vez y desde un principio lógicamente pura. Como su antecesor, Aristóteles, no estuvo libre de las implicaciones sobre la forma en que la naturaleza se debe comportar. En consecuencia, como el concepto aristotélico de velocidad, podría haber sido puesto en tela de juicio por la experiencia acumulada, y eso fue lo que ocurrió a fines del siglo pasado y principios del actual. Siendo tan conocido el episodio, no nos extenderemos sobre él. Aplicado a los movimientos acelerados, el concepto galileano de velocidad implica la existencia de un conjunto de sistemas de referencia espaciales físicamente no acelerados. Tal es la lección del experimento del balde de Newton, lección que ninguno de los relativistas de los siglos XVII y XVIII fue capaz de justificar. Además, aplicado a los movimientos lineales, el concepto revisado de velocidad empleado en este

ticas que más tarde tuvieron que distribuirse entre el calor y la entropía. (Véase mi discusión con V. K. La Mer, *American Journal of Physics* 22 [1954]: 20-27; 23 [1955]: 91-102 y 387-389. En la segunda de estas referencias se formula el punto de la manera que es necesaria aquí.) La masa, por otro lado, muestra una línea opuesta de desarrollo. En la teoría newtoniana, la masa inercial y la masa gravitacional son conceptos distintos, medidos por elementos diferentes. Hace falta una ley de la naturaleza, comprobada experimentalmente, para decir que, dentro de los límites de los instrumentos, las dos clases de medidas arrojarán siempre los mismos resultados. Pero, conforme a la relatividad general, no hace falta una ley experimental distinta. Las dos mediciones *deben* producir el mismo resultado porque se refieren a la misma cantidad.

artículo implica la validez de las llamadas ecuaciones de transformación de Galileo, y éstas especifican propiedades físicas, por ejemplo la adición de la velocidad de la materia o de la luz. Sin la ventaja de ninguna superestructura de leyes y teorías como las de Newton, arrojaron una gran cantidad de información acerca de cómo es el mundo.

Pero sería mejor decir que fueron empleadas para ello. Uno de los primeros grandes triunfos de la física del siglo XX consistió en el reconocimiento de que esa información podía ser impugnada, y la consecuencia, reformular los conceptos de velocidad, espacio y tiempo. Además, en esa transformación conceptual, desempeñaron un papel vital los experimentos imaginarios. El proceso histórico que examinamos mediante la obra de Galileo se ha repetido, desde entonces, con respecto a la misma constelación de conceptos. Es perfectamente posible que ocurra de nuevo, pues es uno de los procesos básicos de avance de la ciencia.

Ahora, mi argumento está casi completo. Para descubrir el elemento que falta todavía, permítaseme recapitular los puntos principales analizados hasta aquí. Comencé sugiriendo que una clase importante de experimentos imaginarios desempeña la función de enfrentar al científico con una contradicción o conflicto, implícito en su manera de pensar. El reconocimiento de la contradicción pareció ser entonces la propedéutica esencial para eliminarla. Como resultado del experimento imaginario, se desarrollaron conceptos claros para remplazar a los confusos que se habían venido empleando. El examen pormenorizado, sin embargo, reveló una dificultad esencial de ese análisis. Los conceptos "corregidos" como secuela de los experimentos imaginarios no mostraron confusión *intrínseca*. Si emplearlos le causó problemas al científico, éstos no eran iguales a los resultantes del uso de una ley o teoría fundadas experimentalmente. Es decir, surgían no de su aparato mental sino de las dificultades descubiertas en el intento por hacer encajar ese aparato en la experiencia no asimilada todavía. La naturaleza, y no la lógica sola, era la responsable de la evidente confusión. Esta situación me llevó a sugerir que, partiendo de la clase de experimento imaginario examinada aquí, el científico aprende algo acerca del mundo y también acerca de sus conceptos. Históricamente, su función se asemeja al doble papel desempeñado por las observaciones y los experimentos de laboratorio reales. Primero, porque los experimentos imaginarios pueden revelar que la naturaleza no se conforma a un determinado conjunto de expectativas. Segundo, pue-

den sugerir formas determinadas de revisar tanto la expectativa como la teoría.

Pero ¿cómo —para plantear el problema que falta— ocurre tal cosa? Los experimentos de laboratorio desempeñan esas funciones porque le dan al científico información nueva y no esperada. Los experimentos imaginarios, por el contrario, deben basarse por completo en la información existente. Si unos y otros desempeñan papeles semejantes, esto debe obedecer a que, en ocasiones, los experimentos imaginarios le dan al científico acceso a una información que, a la vez, tiene a mano y a pesar de eso le resulta de alguna manera inaccesible. Permítaseme tratar de indicar, aunque por fuerza de una manera breve e incompleta, cómo podría ocurrir esto.

Señalé en otra parte que el desarrollo de una especialidad científica madura está determinado normalmente y en gran parte por la existencia de un cuerpo integrado de conceptos, leyes, teorías y técnicas instrumentales que el especialista adquiere de su formación profesional.[31] Esa trama de creencias y expectativas, puesta a prueba por el tiempo, le dice al científico cómo es el mundo y simultáneamente le define los problemas que exigen todavía atención profesional. Esos problemas son los únicos que, al ser resueltos, extenderán la precisión y el alcance de la concordancia que exista entre la creencia y la observación de la naturaleza. Cuando los problemas se seleccionan de esta manera, el éxito pasado asegura de ordinario el éxito futuro. Una de las razones de que la investigación científica parezca avanzar regularmente de problema en problema resuelto consiste en que los profesionales limitan su atención a los problemas definidos por las técnicas conceptuales e instrumentales que ya existen.

Tal modo de seleccionar los problemas, sin embargo, aunque hace particularmente probable el éxito a corto plazo, garantiza también los fracasos a largo plazo, los cuales resultan tener mayores consecuencias para el avance científico. Incluso los datos que esta pauta restringida de investigación le presenta al científico nunca encajan por completo ni con toda precisión con sus expectativas inducidas por la teoría. De algunas de estas fallas de concordancia

[31] Para análisis incompletos de éste y los puntos siguientes, véase mis artículos "The Function of Measurement in Modern Physical Science", *Isis*, 52 (1961): 161-193, y "The Function of Dogma in Scientific Research", en *Scientific Change*, A. C. Crombie, compilador (Nueva York, 1963), pp. 347-369. Trato íntegramente el tema, con muchos otros ejemplos, en mi ensayo *The Structure of Scientific Revolutions* (Chicago, 1962). [*La estructura de las revoluciones científicas*, México, FCE, 1971.]

resultan sus problemas de investigación ordinarios; pero otros son empujados hacia la periferia de la conciencia y algunos más son suprimidos por completo. Por lo regular, esa incapacidad de reconocer y enfrentar la anomalía está justificada. Más a menudo, con ajustes instrumentales menores o con pequeñas articulaciones de la teoría existente se reduce a ley la anomalía. Detenerse sobre las anomalías en el momento en que se presentan es una invitación a la distracción interminable.[32] Pero todas las anomalías responden a los ajustes menores de la trama conceptual e instrumental existente. Entre éstas hay algunas que, bien porque sean particularmente notables o porque se produzcan en forma repetida en muchos laboratorios distintos, no pueden ser dejadas de tomar en cuenta indefinidamente. Aunque queden sin ser asimiladas, chocan con fuerza creciente sobre la conciencia de la comunidad científica.

Conforme continúa este proceso, se va modificando la pauta de investigación de la comunidad científica. Al principio, informes de observaciones no asimiladas comienzan a aparecer cada vez más frecuentemente en las páginas de los cuadernos de notas de los laboratorios o como suplementos de publicaciones. Entonces se le dedican cada vez más y más investigaciones a la propia anomalía. Quienes traten de reducirla a una especie de ley se encontrarán reñidos una y otra vez con el significado de los conceptos y las teorías que han sostenido durante largo tiempo, sin darse cuenta de la ambigüedad. Unos cuantos de ellos empezarán a analizar, críticamente, la trama de creencias que ha llevado a la comunidad a su actual atolladero. En ocasiones, hasta la filosofía se convertirá en la legítima herramienta científica que de ordinario no es. Algunos o todos estos síntomas de crisis de la comunidad son, creo, el preludio invariable a la reconceptuación fundamental que exige casi siempre la eliminación de una anomalía obstinada. Lo característico es que la crisis concluya sólo cuando algún individuo especialmente imaginativo, o bien un grupo, construye una nueva trama de leyes, teorías y conceptos, trama que puede asimilar la experiencia incongruente y al mismo tiempo la mayor parte o toda la experiencia congruente.

A este proceso de reconceptuación le llamé en otra parte Revolución científica. Tales revoluciones no tienen que ser de la magnitud que da a entender el esquema anterior, pero todas comparten entre sí una característica esencial. Los datos indispensables para que ocurra la

[32] Se encuentran muchos testimonios al respecto en Michael Polanyi, *Personal Knowledge* (Chicago, 1958), particularmente el cap. 9.

revolución han estado existiendo en el borde de la conciencia científica; el surgimiento de la crisis los convierte en el centro de atención; y gracias a la reconceptuación revolucionaria es posible verlos de una manera nueva.[33] Lo que se conocía vagamente a pesar del aparato mental de la comunidad antes de la revolución, se conoce después con nueva precisión gracias a su aparato mental.

Esta conclusión, o constelación de conclusiones, es, desde luego, demasiado amplia y demasiado oscura como para documentarla totalmente aquí. Creo, con todo, que para una aplicación limitada han quedado documentados varios de sus elementos esenciales. En lugar central de las situaciones experimentales imaginarias que hemos examinado se encuentra una crisis producida por la insatisfacción de las expectativas y seguida por la revolución. A la inversa, el experimento imaginario es una de las herramientas analíticas esenciales que se emplean durante la crisis y que contribuye a promover la reforma conceptual básica. El resultado de los experimentos imaginarios puede ser el mismo que el de las revoluciones científicas: hacen posible que el científico emplee como parte integral de su conocimiento lo que éste mismo tenía antes de inaccesible. Éste es el sentido en el que cambia el conocimiento que el científico tenía del mundo. Y precisamente por ejercer ese efecto es por lo que aparecen tanto y tan notoriamente en las obras de hombres como Aristóteles, Galileo, Descartes, Einstein y Bohr, los grandes tejedores de las nuevas tramas conceptuales.

Retornemos ahora brevemente y por última vez a nuestros dos experimentos, el de Piaget y el de Galileo. Según pienso, lo que nos inquietó de ellos fue que encontramos implícita en la mentalidad preexperimental leyes de la naturaleza que reñían con la información que, creíamos nosotros, debían poseer ya los sujetos. En realidad, sólo porque poseían la información fue que pudieron aprender algo de la situación experimental. En tales circunstancias, nos intrigó su incapacidad de percibir el conflicto; no estábamos seguros de que tenían algo que aprender todavía; y por ello nos vimos obligados a considerarlos confusos. Creo que esa manera de describir la situación no estaba del todo equivocada, pero sí era algo confusa. Aunque mi sustituto de

[33] La frase "permite verlos de una manera nueva" debe quedar aquí como una metáfora aunque traté de aplicarla literalmente. N. R. Hanson (*Patterns of Discovery* [Cambridge, 1958], pp. 4-30) ya expuso que lo que los científicos ven depende de sus creencias y su formación; sobre este punto se encontrarán muchos testimonios en la última referencia citada en la nota 31.

conclusión quedará en parte como metáfora, propongo la siguiente descripción.

Tiempo antes de que nos los encontráramos, nuestros sujetos, en su interacción con la naturaleza, habían empleado con éxito una trama conceptual diferente de la nuestra. Esa trama había sufrido la prueba del tiempo; y no les había ocasionado dificultades. Sin embargo, en la época en que nos los encontramos, habían adquirido por fin toda la variedad de experiencias que no podían ser asimiladas por su forma tradicional de entendérselas con el mundo. En este punto, dispusieron de toda la experiencia previa para una refundición fundamental de sus conceptos, pero había algo acerca de esa experiencia que ellos no habían visto todavía. Por eso fueron víctimas de la confusión y quizá se sintieron perturbados.[34] La confusión total, sin embargo, se presentó solamente en la situación experimental imaginaria, y fue el preludio para remediarla. Transformando la anomalía percibida en una contradicción concreta, el experimento imaginario les informó a nuestros sujetos qué era lo erróneo. Esa primera visión clara de la discordancia entre la experiencia y la expectativa implícita dio los indicios necesarios para entender la situación.

¿Qué características debe poseer un experimento imaginario para poder producir esos efectos? Sigue siendo válida una parte de mi respuesta anterior. Para que revele una discordancia entre el aparato conceptual tradicional y la naturaleza, la situación imaginada debe permitirle al científico emplear sus conceptos ordinarios de la misma manera que los ha empleado antes. Esto es, no debe obligarle a salirse de lo normal. Por otra parte, es necesario revisar ahora la parte de mi respuesta anterior que se refiere a la verosimilitud física. Supuse que los experimentos imaginarios estaban dirigidos a contradicciones o confusiones puramente lógicas; bastaría, pues, con una situación capaz de poner de manifiesto tales contradicciones; no había entonces ninguna condición de verosimilitud física. Pero si suponemos que la naturaleza y el aparato conceptual están implicados conjuntamente en la contradicción planteada mediante los experimentos imaginarios, hace falta una condición más rigurosa. Si bien la situación imaginada no tiene que ser ni siquiera realizable potencialmente en la naturaleza, el conflicto deducido de ella sí debe ser tal que la naturaleza pudiese

[34] Los niños de Piaget, naturalmente, no se sintieron incómodos (al menos por razones pertinentes) mientras no se les mostraron sus experimentos. En la situación histórica, sin embargo, se realizan los experimentos imaginarios por la conciencia apremiante de que algo ocurre en alguna parte.

presentarlo. En realidad, incluso esa condición no es lo suficientemente rigurosa. El conflicto que se le presenta al científico en la situación experimental debe ser tal que, independientemente de lo confuso que lo vea, ya debe habérsele presentado antes. A menos que posea ya una gran experiencia al respecto, no estará preparado para aprender sólo de los experimentos imaginarios.

XI. LA LÓGICA DEL DESCUBRIMIENTO O LA PSICOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*

EN ESTAS páginas me propongo yuxtaponer la concepción del desarrollo científico descrita en mi libro *La estructura de las revoluciones científicas,* con los puntos de vista, mejor conocidos, de nuestro presidente, sir Karl Popper.[1] Lo común sería que yo declinase tal cometido, pues no creo tanto como sir Karl en la utilidad de las confrontaciones. Además, he admirado su trabajo por tanto tiempo, que no me es nada fácil ponerme a criticarlo ahora. Pero estoy persuadido de que, por esta vez, debe hacerse el intento. Desde antes de que mi libro fuese publicado, hace dos años y medio, había yo empezado a descubrir características especiales y a menudo desconcertantes en la relación que hay entre mis ideas y las de él. Tal relación, así como las reacciones divergentes que hacia ésta me he encontrado, indican que una comparación sistematizada de ambas concepciones ayudará a esclarecer las cosas. Explicaré por qué pienso que podría ser así.

La mayoría de las veces, cuando tratamos explícitamente los mismos problemas, nuestros puntos de vista acerca de la ciencia son casi idénticos.[2] Ambos estamos interesados en el proceso dinámico durante el cual se adquiere el conocimiento, y no en la estructura lógica

* Reimpreso con autorización de *Criticism and the Growth of Knowledge,* I. Lakatos y A. Musgrave, compiladores (Cambridge: Cambridge University Press, 1970), pp. 1-22. *Copyright* de Cambridge University Press, 1970.

Se preparó este artículo accediendo a la invitación de P. A. Schilpp de contribuir a su volumen *The Philosophy of Karl R. Popper* (La Salle, Ill.: Open Court Publishing Co., 1974), pp. 798-819. Les agradezco al profesor Schilpp y a los editores su autorización para publicarlo como parte de los documentos de este simposio, antes de la aparición del volumen para el cual fue solicitado.

[1] Para los fines del siguiente análisis, revisé los trabajos de sir Karl Popper *Logic of Scientific Discovery* (1959), *Conjectures and Refutations* (1963) y *The Poverty of Historicism* (1957). Ocasionalmente, me remito a su original *Logik der Forschung* (1935) y a su *Open Society and Its Enemies* (1945). En mi propio *La estructura de las revoluciones científicas* hay una descripción más extensa de muchos de los problemas que aquí se tratan.

[2] Es de suponerse que sea algo más que una coincidencia el hecho de este traslape. Yo no había leído nada del trabajo de sir Karl hasta la aparición, en 1959, de la traducción al inglés de su *Logik der Forschung* (época en la cual mi propio trabajo existía apenas como borrador), pero ya había oído discutir muchas de sus ideas principales. En

de los productos de la investigación científica. Dado ese interés, ambos hacemos hincapié, como datos legítimos, en los hechos y también en el espíritu de la vida científica real, y ambos nos volvemos hacia la historia para encontrarlos. De esta fuente de datos compartidos, extraemos muchas de las mismas conclusiones. Ambos rechazamos la concepción de que la ciencia progresa por acumulación; ambos subrayamos, en lugar de lo anterior, los procesos revolucionarios durante los cuales la teoría antigua es rechazada y remplazada con otra nueva e incompatible;[3] y ambos hacemos destacar el papel desempeñado en estos procesos por el fracaso ocasional de la teoría antigua en satisfacer las necesidades planteadas por la lógica, el experimento o la observación. Por último, sir Karl y yo estamos unidos en nuestra oposición a muchas de las tesis características del positivismo clásico. Ambos insistimos, por ejemplo, en la correlación, íntima e inevitable, de la observación científica con la teoría científica, somos, por tanto, escépticos acerca de los esfuerzos por producir un lenguaje neutro para la observación; y ambos recalcamos que los científicos pueden dedicarse a inventar teorías que *expliquen* los fenómenos observados y que, cuando tal hacen, es en función de objetos *reales*, independientemente del significado de esta última frase.

La lista anterior no agota los temas en los cuales concordamos sir Karl y yo;[4] pero es lo bastante extensa como para ubicarnos dentro de la misma minoría perteneciente al conjunto de los filósofos de la ciencia contemporáneos. Supongo que por tal razón es que los seguidores de sir Karl han constituido con cierta regularidad mi público más afín, filosóficamente hablando, y al cual le estoy muy agradecido. Pero mi gratitud no es completamente pura. El mismo acuerdo que produce

particular, lo escuché exponer algunas de ellas en las conferencias William James, en Harvard, durante la primavera de 1950. Por estas circunstancias, no puedo pormenorizar una deuda intelectual para con sir Karl, pero alguna debo tener.

[3] En otras partes uso el término "paradigma" en lugar de "teoría" para denotar lo que se rechaza y remplaza durante las revoluciones científicas. Más adelante, se apreciarán algunas de las razones para el cambio.

[4] Subrayando otro punto de acuerdo sobre el que ha habido muchos malentendidos, se aclararán mejor las que, según yo, son las diferencias reales entre los puntos de vista de sir Karl y los míos. Ambos insistimos en que el apego a una tradición desempeña un papel esencial en el desarrollo de la ciencia. Él dice, por ejemplo, que "la tradición —aparte de nuestro conocimiento innato— es, cuantitativa y cualitativamente, la fuente más importante de nuestro conocimiento" (Popper, *Conjectures and Refutations,* p. 27). Ya en 1948 sir Karl escribió algo que viene más al caso: "No creo que alguna vez podamos librarnos por completo de los lazos de la tradición. La llamada liberación es tan sólo el cambio de una tradición a otra" *(ibid.,* p. 122).

la afinidad de este grupo desvía muy a menudo su interés. Al parecer, los seguidores de sir Karl pueden leer partes de mi libro como si fuesen capítulos de una revisión (reciente y para algunos drástica) de su clásico *La lógica del descubrimiento científico*. Uno de ellos se pregunta si la idea de la ciencia descrita en mi libro *La estructura de las revoluciones científicas* no ha sido del dominio público desde hace mucho tiempo. Otro, caritativamente, describe mi originalidad como una demostración de que los descubrimientos de los hechos tienen un ciclo de vida muy parecido al de las innovaciones de la teoría. Otros más todavía se sienten en general complacidos por el libro, pero no están de acuerdo en los dos temas, relativamente secundarios, acerca de los cuales es bastante explícito mi desacuerdo con sir Karl: mi insistencia en la importancia del compromiso profundo para con la tradición y mi descontento con las implicaciones del término "refutación". En fin, todas estas personas leen mi libro a través de unos singulares espejuelos, siendo que hay otra manera de leerlo. Lo que se ve a través de esos espejuelos no es erróneo: mi concordancia con sir Karl es real y sustancial. Sin embargo, los lectores que se encuentran fuera del círculo popperiano casi nunca notan ese acuerdo, y son éstos los que más a menudo reconocen —no por fuerza comprensivamente— los que para mí son los problemas centrales. Mi conclusión es que hay un intercambio gestáltico que divide a los lectores de mi libro en dos o más grupos. Lo que uno de éstos ve como sorprendente paralelismo es virtualmente invisible para los otros. El deseo de entender este fenómeno es lo que me motiva para emprender la comparación de mis puntos de vista con los de sir Karl.

La comparación no debe ser, sin embargo, una mera yuxtaposición de punto a punto. Hay que atender no tanto a la parte periférica en la cual pueden ser aislados nuestros desacuerdos ocasionales y de menor importancia, sino a la región central en la cual parecemos estar de acuerdo. Sir Karl y yo recurrimos a los mismos datos; en singular medida, estamos viendo las mismas líneas sobre el mismo papel; si se nos inquiere sobre esas líneas y esos datos, frecuentemente damos respuestas casi idénticas o, por lo menos, respuestas que inevitablemente parecen ser idénticas en el aislamiento resultante del patrón pregunta-respuesta. Sin embargo, experiencias como las que acabo de mencionar me convencen de que nuestras intenciones suelen diferir cuando decimos las mismas cosas. Aunque las líneas sean las mismas, las figuras que de ellas surgen no lo son. Por eso digo que nos separa un intercambio gestáltico antes que un verdadero desacuerdo, y por eso

también me siento desconcertado y a la vez intrigado acerca de la manera mejor de explorar nuestra brecha. ¿Cómo voy a persuadir a sir Karl, quien sabe lo mismo que yo sobre el desarrollo científico y que en una u otra parte lo ha dicho, de que lo que él llama un pato puede verse como un conejo? ¿Cómo demostrarle lo que es llevar mis espejuelos cuando él ya aprendió a mirar todo lo que yo señalo mediante sus propios espejuelos?

En esta situación se requiere de un cambio de estrategia, la cual será sugerida en este párrafo. Leyendo una vez más varios de los principales libros y ensayos de sir Karl, encuentro de nuevo una serie de frases recurrentes que, aunque las entiendo y no desapruebo, son expresiones que *yo* nunca habría usado en los mismos lugares. Indudablemente, la mayoría de las veces se trata de metáforas aplicadas retóricamente a situaciones que, en otras partes, sir Karl ha descrito de manera excepcional. Sin embargo, para lo que aquí nos ocupa, estas metáforas, que me parecen evidentemente impropias, pueden resultar más útiles que las descripciones objetivas. Es decir, pueden ser sintomáticas de diferencias contextuales ocultas detrás de la expresión literaria. De ser así, estas expresiones serán no las líneas-sobre-el-papel sino la oreja-del-conejo, el chal o el listón-en-la-garganta que aísla uno para el amigo al enseñarle a transformar su manera de ver un dibujo gestáltico. Por lo menos, eso es lo que espero de ellas. Tengo en mente cuatro de esas expresiones, las cuales trataré una por una.

Entre los asuntos fundamentales en los cuales concordamos sir Karl y yo figura nuestra insistencia en que, al analizar el desarrollo del conocimiento científico, se tome en cuenta la forma en que la ciencia se practica realmente. Por eso, me alarman algunas de sus frecuentes generalizaciones. Una de ellas se encuentra al principio del capítulo primero de *La lógica del descubrimiento científico:* "Un científico —dice sir Karl—, sea teórico o experimental, propone ciertos enunciados, o sistemas de enunciados, y luego los prueba uno por uno. Más particularmente, en el campo de las ciencias empíricas, formula hipótesis o sistemas de teorías, y seguidamente las confronta con la experiencia mediante la observación y el experimento."[5] Su afirmación es virtualmente un cliché; pero al aplicarlo ofrece tres problemas. Es ambiguo, pues no especifica qué es lo que se está sometiendo a prueba, si "enunciados" o "teorías" . Cierto es que la ambigüedad puede eliminarse haciendo referencia a otros pasajes de

[5] Popper, *Logic of Scientific Discovery*, p. 27.

los escritos de sir Karl, pero la generalización resultante es errónea desde el punto de vista histórico. Al mismo tiempo, el error es de importancia, pues la forma clara de la descripción prescinde de esa característica de la práctica científica que es lo que mejor distingue a la ciencia de otras actividades creativas.

Hay una clase de "enunciado" o "hipótesis" que los científicos someten repetidamente a prueba sistemática. Tengo en mente los enunciados consistentes en las mejores conjeturas que el investigador se hace sobre la manera correcta de relacionar su problema con el cuerpo de conocimientos científicos aceptado. Puede conjeturar, por ejemplo, que una determinada sustancia química, desconocida, contiene la sal de una tierra rara; que la obesidad de sus ratas experimentales obedece a un determinado componente de sus dietas; o que un espectro recién descubierto debe entenderse como efecto del espín nuclear. En cada caso, los pasos siguientes de su investigación consistirán en tratar de probar la conjetura o hipótesis. Si ésta pasa una serie de pruebas, entonces el científico habrá hecho un descubrimiento o, por lo menos, resuelto el acertijo que traía entre manos. De no ser así, debe abandonar el problema o tratar de resolverlo con la ayuda de otra hipótesis. Aunque no todos, muchos problemas de investigación adoptan esta forma. Las pruebas de esta índole son uno de los componentes normales de lo que en otra parte llamé "ciencia normal" o "investigación normal", actividad que da cuenta de la abrumadora mayoría del trabajo realizado en el terreno de las ciencias básicas. Obsérvese que tales pruebas no apuntan hacia la teoría prevaleciente. Por el contrario, al estar trabajando en un problema de investigación normal, el científico debe *establecer como premisa* la teoría imperante, la cual constituye las reglas de su juego. Su objeto es resolver un misterio, un acertijo, de preferencia uno en el que otros investigadores hayan fracasado; y la teoría presente es necesaria para definir ese misterio y para garantizar que, trabajándolo bien pueda ser resuelto.[6] Por su-

[6] Para una exposición amplia de la ciencia normal, la actividad para la que están formados los profesionales, véase *The Structure of Scientific Revolutions*, pp. 23-42 y 135-142. Es importante observar que cuando describo al científico como resolvedor de acertijos y sir Karl lo describe como resolvedor de problemas (por ejemplo, en su *Conjectures and Refutations*, pp. 67, 222), la similitud de nuestros términos enmascara una divergencia fundamental. Sir Karl escribe (cursivas son de él): "Es cosa admitida que nuestras expectativas y, por tanto, nuestras teorías pueden preceder, históricamente, a nuestros problemas. *Sin embargo, la ciencia sólo comienza con problemas.* Los problemas afloran especialmente cuando nos decepcionamos de nuestras expectativas, o cuando nuestras teorías nos meten en dificultades, en contradicciones." Uso el término "acer-

puesto, quien se entrega a tal empresa debe probar frecuentemente la solución hipotética que su ingenio le sugiera. Pero lo único que se prueba es su personal conjetura. Si ésta no pasa la prueba, entonces lo que queda impugnado es exclusivamente su propia destreza y no el cuerpo de la ciencia prevaleciente. En fin, no obstante que las pruebas se dan con frecuencia en la ciencia normal, éstas son de una clase peculiar, pues en última instancia lo sometido a prueba es el propio científico y no la teoría prevaleciente.

Pero ésta no es la clase de prueba de la que habla sir Karl. A él le interesa el camino que sigue la ciencia en su desarrollo, y está convencido de que ese "desarrollo" ocurre principalmente no por acumulación sino por el derrocamiento revolucionario de una teoría aceptada y sustitución de ésta por otra mejor.[7] (La subordinación de "derrocamiento repetido" al término "desarrollo" es, en sí, una extravagancia lingüística cuya *raison d'être* se aclarará en seguida.) Partiendo de aquí, sir Karl subraya las pruebas realizadas para explorar las limitaciones de la teoría aceptada o para someter la teoría triunfante a una tensión máxima. Entre sus ejemplos favoritos, todos ellos alarmantes y de efectos destructivos, están los experimentos de Lavoisier sobre la calcinación, la expedición para observar el eclipse de 1919 y los experimentos recientes sobre la conservación de la paridad.[8] Todas éstas son, desde luego, pruebas clásicas, pero al usarlas para caracterizar la actividad científica sir Karl se olvida de algo terriblemente importante: que acontecimientos como ésos son en extremo raros en el desarrollo de la ciencia. Cuando ocurren, son provocados generalmente por una crisis en un determinado campo de la ciencia (los experimentos de Lavoisier o los trabajos de Lee y Yang),[9] o bien por la existencia de una teoría que rivaliza con los cánones de investigación presentes (la teoría general de la relatividad de Einstein). Éstos son, sin embargo, aspectos de lo que llamé en otra parte "investigación extraordinaria", empresa en la cual los científicos sí muestran muchas de las caracte-

tijo" (o rompecabezas) para subrayar que las dificultades a las que *ordinariamente* se enfrenta incluso el mejor científico son, como los crucigramas o los problemas de ajedrez, verdaderos retos a su ingenio. *Él* es quien tiene una dificultad, no la teoría del momento. Mi punto es casi opuesto al de sir Karl.

[7] Véase Popper, *Conjectures and Refutations,* pp. 129, 215 y 221, sobre enunciados particularmente vigorosos de esta posición.

[8] Por ejemplo, *ibid.*, p. 220.

[9] Sobre el trabajo relativo a la calcinación, véase Guerlac, *Lavoisier: The Crucial Year* (1961). Sobre los antecedentes de los experimentos de la paridad, véase Hafner y Presswood, "Strong Interference and Weak Interactions", *Science,* 149 (1965): 503-510.

rísticas que subraya sir Karl, pero una de las cuales, por lo menos en el pasado, se ha presentado sólo de manera intermitente y en circunstancias muy especiales de una disciplina científica dada.[10]

Sugiero, pues, que sir Karl caracteriza a la ciencia entera en términos que se aplican sólo a sus ocasionales revoluciones. Esto es natural y común: las proezas de un Copérnico o un Einstein se leen mejor que las de Brahe o las de Lorentz; sir Karl no es el primero en tomar lo que llamo ciencia normal por actividad en sí carente de interés. Sin embargo, no se pueden entender ni la ciencia ni el desarrollo del conocimiento viendo la investigación exclusivamente a través de las revoluciones que produce ocasionalmente. Por ejemplo, aunque la prueba de los compromisos básicos ocurre sólo en la ciencia extraordinaria, es la ciencia normal la que pone de manifiesto tanto los puntos a probar como la manera de probarlos. Y los profesionales se forman por la práctica de la ciencia normal y no de la extraordinaria. Si, a pesar de ello, logran desplazar y remplazar las teorías en las que se funda la práctica normal, esto obedece a una peculiaridad que hay que explicar. Por último, y éste es por ahora mi punto principal, una mirada cuidadosa a la actividad científica sugiere que, en lugar de la ciencia extraordinaria, es la ciencia normal, en la cual no ocurren las clases de pruebas de que habla sir Karl, la que mejor distingue a la ciencia de otras actividades humanas. Si es que existe un criterio de demarcación —y no debemos buscar, creo, un criterio rotundo ni decisivo—, éste puede consistir en esa parte de la ciencia que pasa por alto sir Karl.

En uno de sus ensayos más evocadores, sir Karl hace remontar el origen de "la tradición de la discusión crítica [que] representa la única manera práctica de expandir nuestro conocimiento" a los filósofos griegos, de Tales a Platón, hombres que, según él, alentaron la discusión crítica tanto entre escuelas diferentes como dentro de cada una de ellas.[11] La descripción del discurso presocrático con la que ilustra su aserto es excelente, sólo que lo que presenta no se asemeja en nada a la ciencia. Lejos de ello, la tradición de afirmaciones, negaciones y debates sobre los fundamentos es lo que, salvo quizá durante la Edad Media, caracteriza a la filosofía y a gran parte de las ciencias sociales. Ya desde las matemáticas del periodo helénico, la astronomía, la estática y las partes geométricas de la óptica abandonaron este modo de discurso y optaron por la solución de los problemas. Y, desde

[10] Este punto se trata ampliamente en mi *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 52-97.

[11] Popper, *Conjectures and Refutations*, cap. 5, especialmente pp. 148-152.

entonces, cada vez más ciencias han sufrido la misma transición. En cierto sentido, para poner al derecho los puntos de vista de sir Karl, es precisamente el abandono del discurso crítico lo que marca la transición hacia la ciencia. En cuanto en un campo dado ocurre tal transición, el discurso se presenta sólo en los momentos de crisis, cuando están en peligro las bases de ese campo.[12] Sólo cuando deben elegir entre teorías rivales, los científicos se comportan como filósofos. Creo que por eso la brillante descripción que sir Karl hace de las razones para la elección entre sistemas metafísicos se asemeja tanto a mi propia descripción de las razones para elegir entre diferentes teorías científicas.[13] Como trataré de demostrarlo, en ninguna elección la prueba puede desempeñar un papel decisivo.

Hay, sin embargo, una buena razón para creer que la prueba funciona así, y el examinarla, el pato de sir Karl bien podrá convertirse en mi conejo. No puede existir ninguna actividad de resolver acertijos a menos que quienes la practiquen compartan criterios que, para ese grupo y esa época, determinen cuándo se ha resuelto un determinado acertijo. Con los mismos criterios se determinará, necesariamente, el fracaso en hallar una solución, y quienquiera que tenga que elegir podrá ver en ese fracaso el fracaso de la teoría sometida a prueba. Normalmente, como ya lo subrayé, no es así como se ve el asunto. El único culpable es el profesional, no sus instrumentos; pero en circunstancias especiales que provocan una crisis dentro de la profesión —por ejemplo, un fracaso evidente o la falla repetida de la mayoría de los profesionales más brillantes— es posible que cambie la opinión del grupo. Un fracaso visto primero como personal puede llegar a verse como el fracaso de una teoría sometida a prueba. De ahí en adelante, como la prueba surgió de un acertijo y, por tanto llevaba los criterios para resolverlo, aquélla resulta más rigurosa y difícil de esquivar, que las pruebas existentes dentro de una tradición cuyo modo normal es el del discurso crítico en lugar de la solución de acertijos.

En cierto sentido, la rigurosidad de los criterios de prueba es, pues, sencillamente, un lado de la moneda, cuya otra cara es la tradición de solución de acertijos. Por eso es que la línea de demarcación de sir Karl y la mía coinciden tan frecuentemente. Pero esa coincidencia

[12] Aunque yo no estaba buscando entonces un criterio de demarcación, precisamente argumenté estos puntos en mi *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 10-22 y 87-90.

[13] Compárese Popper, *Conjectures and Refutations*, pp. 192-200, con mi *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 143-158.

se da únicamente en los *resultados;* el *proceso* de aplicarlas es muy diferente, y aísla distintos aspectos de la actividad acerca de la cual debe tomarse la decisión —la ciencia o la no ciencia—. Al examinar los casos perturbadores, por ejemplo, el psicoanálisis o la historiografía marxista, para los cuales, según sus propias palabras, sir Karl ideó su criterio,[14] estoy de acuerdo en que no puede llamárseles "ciencias" propiamente dichas. Pero llego a esa conclusión por una ruta mucho más segura y directa que la de él. Con un breve ejemplo se verá que, de los dos criterios, el de la prueba y el de la solución de acertijos, este último es a la vez el menos equívoco y el más fundamental.

Para evitar controversias contemporáneas que no vienen al caso, prefiero examinar la astrología en lugar de, digamos, el psicoanálisis. El de la astrología es el ejemplo de "seudociencia" citado más frecuentemente por sir Karl.[15] Éste afirma: "Haciendo sus interpretaciones y profecías en forma suficientemente vaga, [los astrólogos] pudieron justificar cualquier cosa que hubiese constituido una refutación de la teoría si ésta y las profecías hubiesen sido más precisas. Para evadir la refutación, destruyeron la posibilidad de someter a prueba la teoría."[16] En esas generalizaciones, se capta algo del espíritu de la actividad astrológica. Pero, tomadas literalmente, como debiera hacerse para que brinden un criterio de demarcación, son imposibles de sostener. Durante los siglos en que gozó de reputación intelectual, la historia de la astrología registra muchas predicciones que fallaron categóricamente.[17] Ni siquiera los astrólogos más convencidos ni sus defensores más vehementes dudaron de la recurrencia de tales fracasos. Pero la astrología no puede ser eliminada de las ciencias por la forma en que fueron elaboradas sus predicciones.

Tampoco puede ser descartada por la forma en que sus practicantes explicaron el fracaso. Los astrólogos señalaron que, por ejemplo, a diferencia de las predicciones generales acerca de, digamos, las tendencias de un individuo o una calamidad natural, la predicción del futuro de un individuo era tarea inmensamente compleja, que exigía la suprema destreza y que era extremadamente sensible a los errores menores contenidos en los datos. La configuración de las estrellas y los

[14] Popper, *Conjectures and Refutations,* p. 34.

[15] En el índice de *Conjectures and Refutations* hay ocho entradas llamadas "astrología como seudociencia típica".

[16] Popper, *Conjectures and Refutations,* p. 37.

[17] Para ejemplos, véase Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science,* 8 vols. (1923-1958), 5:225 *ss.;* 6:71, 101, 114.

ocho planetas estaban cambiando constantemente; las tablas astronómicas empleadas para calcular la configuración en el momento del nacimiento de un individuo eran imperfectas notoriamente; pocos hombres sabían el instante de su nacimiento con la precisión necesaria.[18] ¿Qué de sorprendente tiene, pues, que fallasen frecuentemente las predicciones? Sólo después de que la propia astrología se volvió implausible, estos argumentos vinieron a encerrarse en un círculo vicioso.[19] Hoy en día, se esgrimen argumentos por el estilo para explicar, por ejemplo, los fracasos en la medicina o en la meteorología. En épocas de problemas son empleados también en las ciencias exactas, en campos como la física, la química y la astronomía.[20] La forma en que los astrólogos explicaron sus fracasos no fue nada acientífica.

Pero la astrología no era una ciencia. Se trataba más bien de un oficio, una artesanía, algo parecido a la ingeniería, la meteorología y la medicina tal y como se practicaron estas actividades hasta hace poco más de un siglo. Se parece mucho, creo, a la medicina antigua y al psicoanálisis contemporáneo. En cada uno de estos campos, la teoría compartida era adecuada sólo para establecer la plausibilidad de la disciplina y para fundamentar las reglas empíricas que gobernaban la práctica. Estas reglas resultaron útiles en el pasado, pero ninguno de sus practicantes supuso que bastarían para impedir el fracaso recurrente. Se deseaban una teoría más articulada y reglas más útiles, pero habría sido absurdo abandonar una disciplina plausible y de lo más necesaria, con una tradición de éxito limitado, sencillamente porque esos deseos no se pudiesen cumplir todavía. Faltando tales elementos, sin embargo, ni el astrólogo ni el médico podían hacer investigación. Aunque tenían reglas que aplicar, no tenían acertijos que resolver y, por consiguiente, tampoco ciencia que practicar.[21]

[18] Para explicaciones reiteradas del fracaso, véase *ibid.*, 1:11, 514-515: 4:368; 5:279.

[19] Una penetrante relación de las razones de que la astrología haya perdido plausibilidad se encuentra en Stahlman, "Astrology in Colonial America: An Extended Query", *William and Mary Quarterly*, 13 (1956): 551-563. Para una explicación del atractivo anterior de la astrología, véase Thorndike, "The True Place of Astrology in the History of Science", *Isis*, 46 (1955): 273-278.

[20] *Cf.* mi *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 66-76.

[21] Esta formulación indica que podría salvarse el criterio de demarcación de sir Karl, con sólo modificar levemente su forma de expresarlo, y conservándolo de acuerdo con su intento obvio. Para que un campo sea una ciencia, sus conclusiones deben *derivarse lógicamente de premisas compartidas*. De este modo, la astrología sería eliminada no porque sus pronósticos no puedan comprobarse, sino porque únicamente los más generales y menos comprobables son los que pueden derivarse de una teoría aceptada. Como todo

Compárese la situación del astrónomo con la del astrólogo. Si la predicción de un astrónomo fallaba y éste verificaba sus cálculos, aún tenía la esperanza de enderezar la situación. Quizá los datos fuesen incorrectos: podían reexaminarse las observaciones antiguas y hacerse mediciones nuevas, tareas que planteban toda una variedad de problemas de cálculo y del funcionamiento de los instrumentos. O quizá hubiese que hacer ajustes a la teoría, bien arreglando los epiciclos, las excéntricas, los ecuantes, etc., o bien haciendo reformas fundamentales a la técnica astronómica. Durante más de un milenio, fueron éstos los acertijos teóricos y matemáticos de los que, aunados a sus correlatos instrumentales, se constituyó la tradición de la investigación astrónómica. Al astrólogo, en cambio, no se le presentaron estos acertijos. Podía explicarse el acontecimiento de fracasos, pero los fracasos particulares no daban lugar a acertijos de investigación, pues ningún hombre, por diestro que fuese, podía emplearlos en un intento constructivo por revisar la tradición astrológica. Había muchas posibles fuentes de dificultad, la mayor parte de ellas más allá de los conocimientos, el control o la responsabilidad del astrólogo. Por eso, los fracasos individuales no arrojaban información nueva como tampoco, a los ojos de los colegas, se reflejaban en la competencia del pronosticador.[22] Aunque regularmente el astrónomo y el astrólogo se daban en una misma persona, por ejemplo Tolomeo, Kepler y Tycho Brahe, nunca existió el equivalente astrológico de la tradición astronómica de solución de acertijos. Y, sin problemas que pusiesen a prueba el ingenio del individuo, la astrología no podía convertirse en una ciencia, aun cuando las estrellas hubiesen controlado efectivamente el destino humano.

campo que satisficiese tal condición *podría* apoyar una tradición de solución de acertijos, la sugerencia es claramente útil. Casi se convierte en la condición suficiente para que un campo dado sea una ciencia. Pero, en esta forma por lo menos, no es ni siquiera una condición suficiente y de seguro no es una condición necesaria. Admitiría como ciencias, por ejemplo, la topografía y la navegación, y se opondría a la taxonomía, la geología histórica y la teoría de la evolución. Las conclusiones de una ciencia deben ser precisas y válidas, sin ser totalmente derivables por procedimientos lógicos de las premisas aceptadas. Véase mi *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 35-51, y también la exposición que sigue.

[22] Con esto no se sugiere que los astrólogos no se criticaran unos a otros. Por lo contrario, como los profesionales de la filosofía y algunas ciencias sociales, pertenecían a toda una variedad de escuelas, y la contienda entre éstas era a veces llena de mordacidad. Pero ordinariamente estos debates giraban en torno de la *implausibilidad* de la particular teoría aceptada por una u otra escuela. No se les concedía mucha importancia a los fracasos de las predicciones individuales. Compárese con Thorndike, *A History of Magic and Experimental Science*, 5:233.

En suma, si bien los astrólogos hicieron predicciones susceptibles de ser sometidas a prueba y reconocieron que a veces fallaban tales predicciones, no trabajaron en la clase de actividades que caracterizan normalmente a todas la ciencias reconocidas. Tiene razón sir Karl cuando excluye a la astrología de las ciencias. Pero el concentrarse casi exclusivamente en los cambios revolucionarios de la teoría científica le impide la mejor razón para excluirla. Este hecho puede explicar, a su vez, otra peculiaridad de la historiografía de sir Karl. A pesar de que subraya una y otra vez el papel de las pruebas en el remplazo de las teorías, por ejemplo la de Tolomeo, fueron remplazadas por otras antes de haber sido probadas verdaderamente.[23] Por lo menos en algunas ocasiones, las pruebas no son condiciones indispensables para las revoluciones a través de las cuales avanza la ciencia. Pero no ocurre lo mismo con los acertijos. Aunque las teorías que cita sir Karl no hayan sido puestas a prueba antes de ser desplazadas, ninguna de éstas fue sustituida antes de que dejara de apoyar una tradición de solución de acertijos. Era un escándalo el estado de la astronomía a principios del siglo XVI. Sin embargo, los astrónomos, en su mayoría, pensaban que con ajustes normales de un modelo básicamente tolemaico se enmendaría la situación. En ese sentido, no puede decirse que la teoría no hubiese pasado la prueba. Pero unos cuantos astrónomos, entre ellos Copérnico, pensaron que las dificultades debían residir en el propio enfoque tolemaico antes que en las versiones particulares de la teoría tolemaica, desarrolladas hasta esa época, y los resultados de esa convicción están ya registrados en la historia. La situación es típica.[24] Con o sin pruebas, una tradición de solución de acertijos puede preparar el camino para ser desplazada. Confiar en la prueba como nota distintiva de una ciencia es olvidarse de lo que los científicos hacen principalmente y, con ello, de la característica primordial de su actividad.

Todo lo anterior puede servir de antecedente para descubrir rápidamente la ocasión y las consecuencias de otra de las locuciones favoritas de sir Karl. El prefacio a *Conjectures and Refutations* se inicia con estas frases: "Los ensayos y las conferencias de los cuales se compone este libro son variaciones sobre un tema muy simple: la tesis de que *podemos aprender de nuestros errores.*" Las cursivas son de sir Karl; la tesis se repite en sus escritos desde hace mucho;[25] vista aisladamente, de

[23] Véase Popper, *Conjectures and Refutations*, p. 246.

[24] Véase mi *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 77-87.

[25] La cita se tomó de Popper, *Conjectures and Refutations*, p. vii, de un prefacio que data

modo inevitable obliga a compartirla. Todo el mundo puede aprender y aprende de sus errores; distinguirlos y corregirlos es técnica esencial de la enseñanza infantil. La retórica de sir Karl arraiga en la experiencia cotidiana. Sin embargo, en el contexto en que invoca este imperativo familiar, su aplicación parece ser definitivamente impropia. Y no estoy seguro de que se haya cometido un error, por lo menos un error del que se pueda aprender algo.

No es necesario enfrentarse a los problemas filosóficos más profundos que presentan los errores para ver lo que está en juego en este momento. Es un error sumar tres más tres y obtener cinco, o concluir, de "Todos los hombres son mortales", que "Todos los mortales son hombres". Por razones diferentes, es un error decir "Él es mi hermana", o comunicar la presencia de un fuerte campo eléctrico cuando las cargas de prueba no lo indican. Es de suponerse que haya aun otras clases de errores, pero los normales probablemente comparten las siguientes características: se comete un error en un momento y lugar especificables, por un individuo determinado. Tal individuo no ha obedecido una de las reglas establecidas de la lógica o del lenguaje, o bien de las relaciones entre alguna de ésas y la experiencia. O tal vez no haya reconocido las consecuencias de una elección particular entre las opciones que las reglas le permiten. El individuo puede aprender de su error sólo que el grupo cuya práctica incorpora estas reglas pueda aislar la falla del individuo en aplicarlas. En suma, las clases de errores a las cuales se aplica más obviamente el imperativo de sir Karl son las de las fallas del individuo en entender o en reconocer algo dentro de una actividad gobernada por reglas preestablecidas. En las ciencias, tales errores ocurren con más frecuencia y quizá exclusivamente dentro de la práctica de la investigación de solución normal de acertijos.

Pero no es ahí en donde busca sir Karl, pues su concepto de ciencia oscurece incluso la existencia de la investigación normal. En lugar de ello, examina los acontecimientos extraordinarios o revolucionarios del desarrollo científico. Los errores que señala no son actos sino más bien teorías científicas anacrónicas: la astronomía tolemaica, la teoría del flogisto o la dinámica newtoniana. Y "aprender de nuestros errores" es, correspondientemente, lo que ocurre cuando una comunidad

de 1962, Anteriormente, sir Karl equiparaba "aprender de nuestras equivocaciones" con "aprender por ensayo y error" (*ibid.*, p. 216), y la formulación de por ensayo y error data por lo menos de 1937 (*ibid.*, p. 312); en espíritu es más antigua que aquélla. Mucho de lo que se dice en seguida sobre la noción de "equivocación" en sir Karl se aplica igualmente a su concepto de "error".

científica rechaza una de esas teorías y la sustituye por otra.[26] Si esto no se ve de inmediato como un uso irregular, ello se debe a que despierta la parte inductivista que hay en todos nosotros. Creyendo que las teorías válidas son producto de inducciones correctas a partir de los hechos, el inductivista debe sostener también que una teoría falsa es resultado de un error de inducción. Por lo menos en principio, está preparado para responder estas preguntas: ¿qué error se cometió?, ¿qué regla se violó?, ¿cuándo y por quién para llegar al —digamos— sistema tolemaico? Para el hombre que encuentra razonables estas preguntas, y sólo para él, la expresión de sir Karl no presenta problemas.

Pero ni sir Karl ni yo somos inductivistas. No creemos que haya reglas para inducir teorías correctas a partir de los hechos, y ni siquiera que las teorías, correctas o incorrectas, sean producto de la inducción. Más bien las vemos como afirmaciones imaginativas inventadas de una sola vez para ser aplicadas a la naturaleza. Y aunque indicamos que tales afirmaciones pueden terminar por encontrarse —y usualmente así ocurre— problemas que no pueden resolver, reconocemos también que esas confrontaciones problemáticas suceden raramente durante cierto tiempo después de que una teoría ha sido inventada y aceptada. Según nosotros, pues, no se cometió ningún error para llegar al sistema tolemaico, y por eso se me dificulta tanto entender lo que quiere decir sir Karl cuando a ese sistema, o a cualquier otra teoría anacrónica, le llama error. Lo más que podría decirse es que una teoría que anteriormente no era errónea se ha convertido en errónea, o que un científico ha cometido el error de aferrarse demasiado tiempo a una teoría. Y aun estas expresiones, de las cuales por lo menos la primera es extremadamente inconveniente, no nos devuelven al significado de error con el cual estamos más

[26] *Ibid.*, pp. 215 y 220. En estas páginas sir Karl describe e ilustra su tesis de que la ciencia crece por revoluciones. Mientras tanto, no yuxtapone siempre el término "equivocación" al nombre de una teoría científica extemporánea, quizá porque gracias a su buen instinto histórico no cae en tan burdo anacronismo. Sin embargo, el anacronismo es fundamental en la retórica de sir Karl, lo que da reiterados indicios de las diferencias fundamentales que existen entre nosotros. A menos que las teorías anticuadas sean equivocaciones, no hay manera de reconciliar, digamos, el párrafo inicial del prefacio de sir Karl (*ibid.*, p. vii: "aprender de nuestras equivocaciones"; "nuestros intentos, a menudo equivocados, por resolver nuestros problemas"; "pruebas que pueden ayudarnos a descubrir nuestras equivocaciones") con la idea (*ibid.*, p. 215) de que "el desarrollo del conocimiento científico. . . [consiste en] el continuo derrocamiento de las teorías científicas y su sustitución por otras mejores o más satisfactorias".

familiarizados. Esos errores son los normales que un astrónomo tolemaico (o copernicano) comete dentro de su sistema, quizá en la observación, el cálculo o el análisis de los datos. Es decir, son la clase de errores que deben ser aislados y luego corregidos, dejando intacto el sistema original. En el sentido que le da sir Karl, por otra parte, un error contamina a todo el sistema y sólo puede ser corregido sustituyendo por otro todo el sistema. Ninguna expresión, ni nada que se le parezca, puede encubrir estas diferencias fundamentales, como tampoco se puede ocultar el hecho de que antes de la contaminación el sistema poseía la integridad característica de lo que llamamos ahora conocimiento sólido.

Posiblemente pueda salvarse el sentido que sir Karl le da al término "error", pero para lograrlo debemos despojarlo de ciertos significados que tiene todavía. Como el término "probar", el de "error" se tomó prestado de la ciencia normal, en donde su empleo es razonablemente claro, para aplicarlo a los acontecimientos revolucionarios, en donde tal aplicación no deja de ser problemática. Esa transferencia crea, o por lo menos robustece, la impresión prevaleciente de que teorías enteras pueden juzgarse con los mismos criterios que se emplean para juzgar las aplicaciones de una teoría dentro de un trabajo de investigación individual. Cobra entonces urgencia, para muchos, el descubrimiento de los criterios aplicables al caso. Que sir Karl figure entre ellos me parece extraño, pues la búsqueda va en contra de la idea más original de su filosofía de la ciencia. Pero no puedo entender de otra manera sus escritos metodológicos desde la *Logik der Forschung*. Ahora, a pesar de todas las impugnaciones explícitas, sugeriré que ha buscado consecuentemente procedimientos de evaluación aplicables a teorías, los cuales posean la seguridad evidente que caracteriza a las técnicas por las cuales se identifican los errores en la aritmética, la lógica o la medición. Me Temo que está persiguiendo una quimera nacida de la misma confusión de la ciencia normal con la extraordinaria, y que ha hecho que las pruebas parezcan un componente fundamental de las ciencias.

En su *Logik der Forschung*, sir Karl subrayó la asimetría de una generalización y su negación con respecto a las pruebas empíricas. No se puede demostrar que una teoría científica se aplique a todos los casos posibles, pero sí que no se aplica a determinados casos. La insistencia en ese axioma lógico y en sus implicaciones parece ser un paso adelante, y de ahí no debemos retroceder. La misma asimetría desempeña un papel fundamental en mi *Estructura de las revoluciones científicas*,

en donde el fallo de una teoría para dar reglas que identifiquen los acertijos solucionables se ve como la fuente de las crisis profesionales que a menudo terminan con el cambio de la teoría. Lo que estoy diciendo es casi lo mismo que sir Karl, y bien puedo haberlo tomado de lo que oí sobre su trabajo.

Pero sir Karl describe como "refutación" lo que ocurre cuando no se puede aplicar una teoría a un caso dado. Y ésta es la primera de una serie de expresiones relacionadas, cuya peculiaridad me ha dejado sorprendido. "Refutación" es antónimo de "prueba". Uno y otro término provienen de la lógica y de las matemáticas formales; las cadenas de argumentos a las cuales se aplican concluyen con un "Q.E.D." Invocar estos términos implica la capacidad de lograr el asentimiento de cualquier miembro de la comunidad profesional de que se trate. No hace falta, sin embargo, decirle a ninguno de los miembros de este público que, cuando toda una teoría o acaso una ley científica están en juego, los argumentos rara vez son tan evidentes. Pueden impugnarse todos los experimentos, ya sea en razón de su pertinencia o su precisión. Pueden modificarse todas las teorías mediante los más variados ajustes *ad hoc*, sin que, en términos generales, dejen de ser las mismas teorías. Además, es importante que esto sea así, pues frecuentemente el conocimiento científico crece por impugnación de las observaciones o por ajuste de las teorías. Las impugnaciones y los ajustes son una parte común y corriente de la investigación normal dentro de las ciencias empíricas, y los ajustes no dejan de tener un papel predominante en las matemáticas informales. El brillante análisis que el doctor Lakatos hace de las réplicas permisibles a las refutaciones matemáticas constituye el argumento más revelador que conozco en contra de una posición "refutacionista" ingenua.[27]

Sir Karl no es, desde luego, un refutacionista ingenuo. Sabe lo que acabo de decir y lo ha subrayado desde el principio de su carrera. Ya en *La lógica del descubrimiento científico*, por ejemplo, escribe: "En realidad, no puede producirse ninguna refutación concluyente de ninguna teoría, pues siempre es posible decir que los resultados experimentales no son dignos de confianza, o que las discrepancias que se dice existen entre los resultados experimentales y la teoría son sólo aparentes, y que se desvanecerán cuando tengamos más conocimientos."[28] Enunciados como éste muestran una semejanza más entre las

[27] I. Lakatos, "Proofs and Refutations", *British Journal for the Philosophy of Science*, 14 (1963-1964): 1-25, 120-139, 221-243, 296-342.

[28] Popper, *Logic of Scientific Discovery*, p. 50.

ideas de sir Karl y las mías, pero lo que hacemos con ellas difiere bastante. Para mí, son enunciados fundamentales, tanto en calidad de pruebas como de fuentes. Para sir Karl, en cambio, son una limitación esencial que amenaza la integridad de su posición básica. Barrió con la impugnación concluyente, pero no la sustituyó con ninguna otra cosa, y la relación que sigue tomando en cuenta es la de la refutación lógica. Si bien no es un refutacionista ingenuo, creo que, legítimamente, puede tratársele como tal. Si estuviese interesado exclusivamente en la delimitación, entonces los problemas que plantea la inexistencia de las refutaciones concluyentes serían menos graves y quizá eliminables. Esto es, se llegaría a la delimitación por un criterio exclusivamente sintáctico.[29] El punto de vista de sir Karl sería entonces, y quizá ya lo sea, el de que una teoría es científica si, y sólo si, *los enunciados de la observación* —particularmente las negaciones de proposiciones existenciales singulares— pueden deducirse lógicamente de ella, quizá en conjunto con el conocimiento establecido como antecedente. Entonces no vendrían al caso las dificultades —a las cuales me referiré en breve— que se presentan al decidir si una determinada operación de laboratorio justifica el emitir un determinado enunciado de observación. Quizá, aunque la base para hacerlo así sea menos evidente, podrían eliminarse las dificultades igualmente graves de decidir si un enunciado de observación deducido de una versión aproximada —por ejemplo, manejable matemáticamente— de la teoría debe considerarse o no una consecuencia de la propia teoría. Problemas como éstos no pertenecerían a la sintaxis, pero sí a la pragmática o a la semántica del lenguaje en que estuviese expresada la teoría, y por lo mismo no desempeñarían ningún papel en determinar su calidad de ciencia. Para que sea científica, una teoría sólo puede ser refutada por un enunciado de observación y no por la observación real. La relación entre enunciados, a diferencia de la que hay entre enunciado y observación, sería la refutación concluyente tan familiar en la lógica y en las matemáticas.

Por razones ya indicadas (nota 21) y que en seguida ampliaré, dudo que las teorías científicas puedan expresarse sin cambio decisivo en forma tal que permita los juicios, puramente sintácticos, que exige esta versión del criterio de sir Karl. Pero, aunque así fuese, sobre estas

[29] Aunque mi punto de vista es algo diferente, mi reconocimiento de la necesidad de enfrentar este problema se lo debo a las severas críticas de C.G. Hempel, dirigidas a quienes mal interpretan a sir Karl atribuyéndole una creencia en la refutación absoluta y no en la relativa. Véase Hempel, *Aspects of Scientific Explanation* (1965), p. 45. También le agradezco a Hempel su crítica, penetrante y aguda, al borrador de este artículo.

teorías reconstruidas podría fundarse solamente su criterio de delimitación, pero no la lógica del conocimiento, asociada tan íntimamente con aquél. Este último es, sin embargo, el interés más persistente de sir Karl, y su noción del mismo, muy precisa. "La lógica del conocimiento", escribe, "consiste solamente en investigar los métodos empleados en esas pruebas sistemáticas a las que debe someterse toda idea nueva para que sea tratada seriamente."[30] De esta investigación, prosigue, resultan reglas metodológicas o convenciones como la siguiente: "Una vez que se ha propuesto y probado una hipótesis, y que se ha probado su validez, no puede ser descartada sin una 'buena razón'. Una 'buena razón' sería, por ejemplo. . . . La refutación de una de las consecuencias de la hipótesis."[31]

Reglas como éstas, y con ellas toda la actividad lógica ya descrita, dejan de ser de significado puramente sintáctico. Requieren que tanto el investigador epistemológico como el investigador científico sean capaces de relacionar proporciones provenientes de una teoría no con otras proporciones sino con observaciones y experimentos reales. Éste es el contexto en el que debe funcionar el término "refutación, de sir Karl, pero él no nos dice nada sobre cómo ocurriría tal cosa. ¿Qué es refutación sino una impugnación concluyente? ¿En qué circunstancias la *lógica* del conocimiento requiere que un científico abandone la teoría aceptada al enfrentarla no a enunciados sobre experimentos, sino a los propios experimentos? Por el momento quedan sin respuesta estas preguntas, y no estoy nada seguro de lo que sir Karl nos haya dado como lógica del conocimiento. En mi conclusión, sugeriré que, aunque igualmente valiosa, es absolutamente otra cosa. En lugar de una lógica, sir Karl nos da una ideología; en lugar de reglas metodológicas, nos da máximas aplicables a los procedimientos.

La conclusión, sin embargo, se pospondrá hasta después de darle una mirada más profunda a la fuente de las dificultades que presenta la noción de refutación, de sir Karl. Presupone, como ya indiqué, que una teoría se expresa, o puede expresarse sin distorsión, en forma tal que le permite al científico clasificar todo acontecimiento concebible, bien como caso confirmatorio, caso refutatorio o caso improcedente respecto de la teoría. Obviamente, esto es lo que se requiere para que una ley general sea refutable: para probar la generalización $(x)\ \phi(x)$ aplicándola a la constante a, tenemos que poder decir si a está o no está dentro del dominio de la variable x y si o no $\phi(a)$. La misma

[30] Popper, *Logic of Scientific Discovery*, p. 31.
[31] *Ibid.*, pp. 53-54.

presuposición es aún más evidente en la medida de verosimilitud elaborada recientemente por sir Karl. Exige que se obtenga primero la clase de todas las consecuencias lógicas de la teoría y luego, de entre éstas, y con la ayuda del conocimiento antecedente, se elijan las clases de todas las consecuencias verdaderas y todas las consecuencias falsas.[32] Por lo menos, debemos hacer esto si del criterio de verosimilitud va a resultar un *método* de elección de teoría. Pero ninguna de estas tareas puede cumplirse a menos que la teoría posea una articulación lógica total y a menos que los términos que la vinculan con la naturaleza estén lo suficientemente definidos como para determinar su aplicabilidad en cada caso posible. En la práctica, sin embargo, no hay teoría científica que satisfaga estas rigurosas demandas, y son muchos los que argumentan que, si así fuese, una teoría dejaría de ser útil en la investigación.[33] En otra parte, introduje el término de "paradigma" para recalcar la dependencia de la investigación científica respecto de los ejemplos concretos que llenan lo que de otra manera serían huecos en la especificación del contenido y aplicación de las teorías científicas. No repetiré aquí los argumentos que vienen al caso. Aunque me aparte un poco de mi exposición, será útil describir un ejemplo breve.

Mi ejemplo toma la forma de un resumen construido de algún conocimiento científico elemental. Ese conocimiento se refiere a los cisnes y para aislar las características que aquí nos interesan haré tres preguntas sobre él. *a)* ¿Cuánto puede saberse sobre los cisnes sin introducir generalizaciones explícitas como "Todos los cisnes son blancos"? *b)* ¿En qué circunstancias y con qué consecuencias vale la pena agregar tales generalizaciones a lo que ya se sabe sin ellas? *c)* ¿En qué circunstancias se rechazan las generalizaciones en cuanto son hechas? Al hacer estas preguntas, me propongo sugerir que, si bien la lógica es un instrumento poderoso y a fin de cuentas esencial en la investigación científica, puede uno tener conocimientos sólidos en formas a las que la lógica apenas si puede aplicarse. Al mismo tiempo, sugiero que toda articulación lógica no es un valor en sí, y que debe tratar de lograrse sólo cuando y en la medida en que las circunstancias la exijan.

[32] Popper, *Conjectures and Refutations*, pp. 233-235. Obsérvese también en la nota al pie de la última de estas páginas, que la comparación que hace sir Karl de la verosimilitud relativa de dos teorías depende de que "[no haya] cambios revolucionarios en nuestro conocimiento antecedente", suposición que no argumenta en ninguna parte y que es difícil de reconciliar con su concepción del cambio científico mediante revoluciones.

[33] Braithwaite, *Scientific Explanation* (1953), pp. 50-87, especialmente p. 76, y mi *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 97-101.

Imagine que le han enseñado diez aves, de las cuales se acuerda, y que han sido identificadas categóricamente como cisnes; que está usted familiarizado de la misma manera con patos, gansos, pichones, palomas, gaviotas y otras; y que se le informa a usted que cada uno de estos tipos constituye una familia natural. Usted ya sabe que una familia natural es un agregado de objetos iguales, lo suficientemente importantes y lo bastante distintos como para merecer un nombre genérico. Más exactamente, aunque aquí simplifico el concepto más de la cuenta, una familia natural es una clase cuyos miembros se asemejan entre sí más de lo que se asemejan a los miembros de otras familias naturales.[34] La experiencia de las generaciones hasta la fecha ha confirmado que todos los objetos observados pertenecen a una u otra familia natural. Es decir, se ha demostrado que la población total del globo puede dividirse siempre —aunque no de una vez ni para siempre— en categorías perceptualmente discontinuas. Se cree que en los espacios perceptuales que dejan entre sí estas categorías no existe ningún objeto.

Lo que aprende usted de los cisnes a través de los paradigmas es casi lo mismo que aprenden los niños acerca de los perros y los gatos, las mesas y las sillas, las madres y los padres. Su extensión y contenido precisos son, desde luego, imposibles de especificar. Pero, a pesar de ello, son conocimientos sólidos. Partiendo de la observación, pueden ser confirmados mediante otras observaciones y, en tanto, constituyen la base de la acción racional. Al ver un ave que se parece a los cisnes que usted ya conoce, podrá suponer razonablemente que necesitará los mismos alimentos que los demás y con ésos la alimentará. Admitido que los cisnes constituyen una familia natural, ningún ave que se parezca a éstos mostrará características radicalmente diferentes al ser examinada de cerca. Claro está que puede usted haber sido mal informado sobre la integridad natural de la familia de los cisnes. Pero eso puede descubrirse por la experiencia; por ejemplo, con el descubrimiento de varios animales —nótese que hace falta más de uno— cuyas características llenan el hueco entre los cisnes y, digamos, los

[34] Nótese que la semejanza entre los miembros de una familia natural es aquí una relación aprendida y que puede desaprenderse. Obsérvese el viejo dicho: "A un occidental, todos los chinos le parecen iguales." Ese ejemplo me aclara también las simplificaciones más drásticas introducidas en este punto. En una discusión más completa tendrían que admitirse jerarquías de familias naturales con relaciones de semejanza entre las familias de los niveles superiores.

gansos, por intervalos escasamente perceptibles.[35] Pero mientras eso no ocurra, sabrá usted mucho acerca de los cisnes, aunque no esté usted muy seguro de lo que sabe ni conozca lo que es un cisne.

Suponga usted ahora que todos los cisnes que ha observado realmente son blancos. ¿Aceptaría la generalización de que "Todos los cisnes son blancos"? Al hacerlo así, cambiará muy poco lo que usted sabe; ese cambio será útil sólo en el caso improbable de que se encuentre usted un ave no blanca que, en todo lo demás, parezca ser un cisne; al hacer el cambio, aumenta usted el riesgo de que la familia de los cisnes no sea, a fin de cuentas, una familia natural. En tales circunstancias, probablemente se abstenga usted de hacer la generalización a menos que tenga razones especiales para lo contrario. Quizá, por ejemplo, deba usted describir cisnes a hombres a los que no pueden enseñárseles directamente los paradigmas. Sin precauciones sobrehumanas, tanto de parte de usted como de sus lectores, su descripción adquirirá la fuerza de una generalización; y éste es a veces el problema del taxonomista. O quizá haya descubierto usted algunas aves grises que, en lo demás, son como los cisnes, pero se alimentan de otro modo y tienen mal carácter. Puede usted generalizar entonces para evitar un error conductual. O puede usted tener una razón más teórica para pensar que vale la pena hacer la generalización. Por ejemplo, ha observado usted que los miembros de otras familias naturales comparten la coloración. Especificando este hecho en forma tal que permita la aplicación de las poderosas técnicas lógicas a lo que usted ya sabe aprenderá usted más sobre el color de los animales en general o sobre la alimentación de estos mismos.

Ahora, habiendo hecho la generalización, ¿qué hará usted si se encuentra con un ave negra que, en todo lo demás, sea igual a un cisne? Creo que casi las mismas cosas que si no se hubiese comprometido con la generalización. Examinará usted el ave cuidadosamente, en lo exterior y quizá en lo interior también, para encontrar otras características que distingan este espécimen de sus paradigmas. Ese examen será especialmente largo y completo en la medida en que tenga usted razones teóricas para creer que el color caracteriza a las familias naturales, o bien en la medida en que se sienta usted comprometido

[35] En esta experiencia, no habría necesidad de abandonar ni la categoría de "cisnes" ni la categoría de "gansos", pero sí haría falta la introducción de una frontera *arbitraria* entre ellas. Las familias de "cisnes" y "gansos" dejarían de ser familias naturales, y no podría usted sacar conclusión alguna sobre el carácter de un ave nueva parecida a los cisnes que no fuera también válida para los gansos. Para que la pertenencia a una familia posea contenido cognoscitivo es esencial que haya un espacio perceptual vacío.

para con la generalización. Muy probablemente, el examen revelará otras diferencias, y anunciará usted entonces el descubrimiento de una nueva familia natural. O tal vez no encuentre tales diferencias y tenga que anunciar que ha encontrado un cisne negro. La observación, sin embargo, no puede forzarlo a usted a refutar la conclusión, y en caso de que lo haga, usted será el único perdedor. Las consideraciones teóricas pueden indicar que basta con el color para delimitar una familia natural: el ave no es un cisne porque es negra. O, sencillamente, puede usted aplazar el problema mientras no descubra ni examine otros especímenes. Sólo en el caso de que se haya comprometido usted con una definición totalizadora de "cisne", la cual especifique su aplicabilidad a todo objeto concebible, se verá usted *forzado* lógicamente a abjurar de su generalización.[36] ¿Y por qué habría usted dado tal definición? No desempeñaría ninguna función cognoscitiva, pero sí lo expondría a usted a riesgos tremendos.[37] A veces, desde luego, vale la pena correr riesgos, pero decir más de lo que se sabe, tan sólo por correr el riesgo, es una temeridad.

Creo que, aunque más articulado lógicamente y mucho más complejo, el conocimiento científico es de esta índole. Los libros y los profesores de los cuales se adquiere presentan ejemplos concretos junto con toda una multitud de generalizaciones teóricas. Ambos son portadores esenciales del conocimiento y, por lo tanto, es *pickwikiano* buscar un criterio metodológico que supuestamente le permita al científico especificar, de antemano, si cada caso imaginable confirma o refuta su teoría. Los criterios de que dispone, explícitos e implícitos, bastan para responder esa pregunta sólo en los casos claramente confirmatorios o claramente improcedentes. Éstos son los casos que él espera encontrar, los únicos para los cuales sirve su conocimiento. Al enfrentarse a lo inesperado, debe siempre investigar más para articu-

[36] Una prueba más sobre la artificialidad de definiciones como ésa se obtiene con la siguiente pregunta: ¿debe incluirse la "blancura" como característica que define los cisnes? De ser así, la generalización "Todos los cisnes son blancos" es inmune a la experiencia. Pero si se excluye de la definición la "blancura", entonces debe incluirse alguna otra característica a la que haya sustituido "blancura". Las decisiones sobre qué características van a formar parte de una definición y cuáles van a estar disponibles para el enunciado de leyes generales son frecuentemente arbitrarias y, en la práctica, rara vez se toman. El conocimiento no suele articularse de esa manera.

[37] A esta forma incompleta de las definiciones se le llama a veces "textura abierta" o "vaguedad de significado", pero frases como éstas me parecen torcidas. Quizá las definiciones sean incompletas, pero no hay nada mal en los significados. ¡Así es como se comportan los significados!

lar su teoría en el punto en donde se ha originado el problema. Luego, puede rechazarla a favor de otra por una buena razón. Pero ningún criterio exclusivamente lógico puede dictar por entero la conclusión que debe sacar.

Casi todo lo dicho hasta aquí suena como variaciones sobre un mismo tema. Los criterios según los cuales los científicos determinan la validez de una articulación o una aplicación de la teoría existente no son en sí suficientes para determinar la elección entre teorías rivales. Sir Karl se equivoca al transferir características seleccionadas de la investigación cotidiana a los ocasionales acontecimientos revolucionarios en los cuales el avance científico es más obvio, y al pasar por alto, en adelante, la actividad cotidiana. En particular, trata de resolver el problema de la elección de teoría durante las revoluciones conforme a criterios lógicos aplicables totalmente sólo cuando una teoría ya puede darse por sentada. Ésta es la parte más grande de la tesis que sostengo en este artículo, y sería toda mi tesis si me contentase con dejar formuladas las preguntas que a raíz de ellas han surgido. ¿Cómo eligen los científicos entre teorías rivales? ¿Cómo hemos de entender la forma en que progresa la ciencia?

Permítaseme aclarar de una vez que, luego de haber abierto la caja de Pandora, la cerraré de inmediato. Acerca de estas preguntas hay mucho que no entiendo todavía y que tampoco pretendo haber entendido. Pero pienso que veo las direcciones en las cuales deben buscarse las respuestas, y concluiré con un intento por señalar el camino. Cerca del final, encontraremos una vez más un conjunto de las expresiones características de sir Karl.

Debo comenzar por preguntar qué es lo que requiere ser explicado todavía. No que los científicos descubren la verdad sobre la naturaleza ni que se aproximan cada vez más a la verdad. A menos que, como indica uno de mis críticos,[38] definamos simplemente la aproximación a la verdad como producto de lo que los científicos hacen, no podemos reconocer el progreso hacia ese objetivo. En su lugar, debemos explicar por qué la ciencia —nuestra muestra más segura de conocimiento sólido— progresa como lo hace, y lo primero que debemos descubrir es cómo progresa.

Sorprende lo poco que se sabe sobre la respuesta a esa pregunta descriptiva. Hace falta todavía una gran cantidad de investigación

[38] D. Hawkins, reseña de *Structure of Scientific Revolutions* en *American Journal of Physics*, 31. (1963): 554-555,

empírica realizada en forma inteligente. Con el paso del tiempo, las teorías científicas, tomadas en grupo, son obviamente más y más articuladas. Durante el proceso, se amoldan a la naturaleza en cada vez más puntos y con precisión creciente. El número de asuntos a los cuales puede aplicarse el enfoque de solución de acertijos crece también con el tiempo. Hay una continua proliferación de especialidades científicas en parte por extensión de las fronteras de la ciencia y en parte por la subdivisión de los campos existentes.

Estas generalizaciones son, sin embargo, apenas el principio. Casi no sabemos nada, por ejemplo, de lo que un grupo de científicos sacrifica para lograr las ganacias que ofrece invariablemente una teoría nueva. Mi propia impresión, que no es más que eso, consiste en que una comunidad científica rara vez o nunca adoptará una teoría nueva, a menos que ésta resuelva todos o casi todos los problemas cuantitativos, numéricos, que hayan sido tratados por su antecesora.[39] Por otro lado, con algo de renuencia, sacrificarán poder explicativo, a veces dejando abiertas cuestiones ya resueltas y a veces declarándolas anticientíficas.[40] En otro aspecto, muy poco sabemos sobre los cambios históricos relativos a la unidad de las ciencias. A pesar de ocasionales y espectaculares logros, la comunicación entre especialidades científicas empeora cada vez más. ¿Crece con el tiempo el número de puntos de vista incompatibles sustentados por un número cada vez mayor de comunidades de especialistas? La unidad de las ciencias ¿es un claro valor para el científico, pero al cual estaría dispuesto a renunciar? O, aunque el cuerpo del conocimiento científico crece claramente con el tiempo, ¿qué podemos decir de nuestra ignorancia? Los problemas resueltos durante los últimos treinta años no existían como pregunta sin respuesta hace un siglo. En toda época, el conocimiento científico existente agota virtualmente lo que hay que saber, dejando problemas visibles sólo en el horizonte del conocimiento presente. ¿No es posible, o por lo menos probable, que los científicos contemporáneos sepan menos de lo que hay que saber del mundo actual, que lo que los científicos del siglo XVIII sabían del suyo? Es de recordarse que las teorías científicas se amoldan a la naturaleza sólo aquí y allá. ¿Son ahora los intersticios entre esos puntos de contacto más grandes y más numerosos que nunca?

Mientras no podamos contestar preguntas como éstas, tampoco

[39] *Cf.* Kuhn, "The Role of Measurement in the Development of Physical Science", *Isis*, 49 (1958): 161-193.

[40] *Cf.* Kuhn, *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 102-108.

podremos saber lo que es el progreso científico y, por lo mismo, menos aún tendremos esperanzas de explicarlo. Por otra parte, las respuestas a estas preguntas casi darán la explicación buscada. Las dos cosas vienen prácticamente juntas. Ya debe estar claro que, en última instancia, la explicación deberá ser psicológica o sociológica. Es decir, deberá ser la descripción de un sistema de valores, una ideología, junto con un análisis de las instituciones mediante las cuales se transmite e impone ese sistema. Sabiendo qué es a lo que los científicos le conceden valor, podemos tener la esperanza de entender qué problemas atacarán y qué decisiones tomarán en particulares circunstancias de conflicto. Dudo que vaya a encontrarse otra clase de respuestas.

La forma que adoptará esa respuesta es, desde luego, otro asunto. Aquí termina también mi sensación de que controlo el tema que estoy tratando. Pero con algunas generalizaciones de muestra se ilustran las clases de respuestas que deben buscarse. Para el científico, su objetivo principal es la solución de una dificultad conceptual o de un problema de instrumentos. Su éxito en esa empresa lo recompensa el reconocimiento de sólo sus colegas. El mérito práctico de su solución no tendrá otra cosa que un valor secundario, y la aprobación de las personas ajenas a la especialidad es un valor negativo o nulo. Estos valores, que intervienen en prescribir la forma de la ciencia normal, son importantes también en las épocas en que debe elegirse entre teorías. El hombre entrenado como resolvedor de acertijos deseará preservar tantas soluciones como sea posible de las obtenidas por su grupo, y asimismo tratará de llegar al máximo de problemas que puedan ser resueltos. Pero aun estos valores entran frecuentemente en conflicto, y hay otros que dificultan más todavía el problema de la elección. Es a este respecto en donde cobra especial importancia el estudio de aquello a lo que los científicos renunciarían llegado el caso. La simplicidad, la precisión y la congruencia con las teorías pertenecientes a otras especialidades son valores importantes para los científicos, pero no todos ellos prescribirán la misma elección ni serán aplicados de la misma manera. Siendo éste el caso, importa también que la unanimidad del grupo sea un valor supremo, gracias al cual se reduzcan dentro del grupo las ocasiones de conflicto y que dicho grupo se congregue rápidamente en torno de un solo conjunto de reglas para la solución de acertijos, aun al precio de subdividir la especialidad o de excluir a un miembro productivo.[41]

[41] *Ibid.*, pp 161-169.

No estoy sugiriendo que éstas sean las respuestas correctas al problema del progreso científico, sino tan sólo que son los tipos de respuestas que debemos buscar. ¿Puedo tener la esperanza de que sir Karl se unirá en este punto de vista de la tarea por hacer? Durante algún tiempo he supuesto que no, pues un conjunto de frases que se repite en su obra parece contenerlo. Una y otra vez ha rechazado "La psicología del conocimiento" o lo "subjetivo", e insistido en que su interés se dirige preferentemente hacia lo "objetivo" o hacia "la lógica del conocimiento".[42] El título de su contribución fundamental a nuestro campo es *La lógica del descubrimiento científico*, y es allí en donde asevera positivamente que se interesa por los acicates lógicos al conocimiento, antes que por los impulsos psicológicos de los individuos. Hasta hace poco, venía yo suponiendo que esta concepción del problema estaba en contra de la clase de solución por la que abogo.

Pero ahora ya no estoy tan seguro, pues hay otro aspecto en el trabajo de sir Karl que no es del todo incompatible con lo dicho anteriormente. Cuando rechaza la "psicología del conocimiento", sir Karl se preocupa explícitamente sólo por negar la pertinencia metodológica de la fuente de inspiración del *individuo*, o la sensación de certidumbre del individuo. Y no puedo discrepar con eso. Hay, sin embargo, un largo paso del rechazo de la idiosincrasia psicológica de un individuo al rechazo de los elementos comunes inducidos por la educación y el adiestramiento dentro de la conformación psicológica del miembro titulado de un *grupo científico*. No debe descartarse uno a favor del otro. Y esto es algo que sir Karl parece reconocer a veces. Aunque insiste en que escribe acerca de la lógica del conocimiento, en su metodología tienen un papel esencial pasajes que sólo puedo leer como intentos por inculcar imperativos morales a los miembros del grupo científico.

Escribe sir Karl:

> Supóngase que deliberadamente hemos hecho nuestra la tarea de vivir en este desconocido mundo nuestro; que tratamos de adaptarnos a él lo mejor que podemos. . . y de explicarlo, *si* es posible (necesitamos suponer que sí es) y hasta donde sea posible, con ayuda de leyes y teorías explicativas. *Si hemos hecho de esto nuestra tarea, entonces no hay procedimiento más racional que el método de . . . conjetura y refutación*: de proponer teorías valientemente; de hacer lo mejor que podamos para demostrar que son erróneas; y de aceptarlas provisionalmente cuando no tienen éxito nuestros esfuerzos críticos.[43]

[42] Popper, *Logic of Scientific Discovery*, pp. 22, 31-32 y 46; *Conjectures and Refutations*, página 52.

[43] Popper, *Conjectures and Refutations*, p. 51 (cursivas en el original).

Creo que no entenderemos el éxito de la ciencia sin entender antes la fuerza total de imperativos como éstos, inducidos retóricamente y compartidos profesionalmente. Más institucionalizadas, y mejor articuladas —y también de manera algo diferente—, tales máximas y valores pueden explicar el resultado de elecciones que no podrían ser prescritas ni por la lógica ni por el experimento solos. El hecho de que pasajes como éste ocupen lugar prominente en los escritos de sir Karl es, pues, una prueba más de la afinidad de nuestros puntos de vista. Que no los vea siempre como los imperativos sociopsicológicos que son es una prueba más también del cambio gestáltico que tan profundamente nos divide todavía.

XII. ALGO MÁS SOBRE LOS PARADIGMAS*

HACE VARIOS años que se publicó mi libro *La estructura de las revoluciones científicas*. Las reacciones que despertó han sido variadas y en ocasiones estruendosas, pero el libro se continúa leyendo y discutiendo mucho. En general, me siento satisfecho por el interés que ha despertado e igualmente por las criticas. Hay, sin embargo, un aspecto de esa reacción que no deja de desalentarme a veces. Al escuchar conversaciones, particularmente entre los entusiastas del libro, en ocasiones me es difícil creer que todos los participantes hayan leído el mismo libro. Pues debo concluir, con pesar, que parte de su éxito se debe a que casi toda la gente puede encontrar casi todas las cosas que quiere.

Ningún aspecto del libro es tan responsable de esa plasticidad excesiva como la introducción del término "paradigma",[1] palabra que figura en sus páginas más que cualquier otra, aparte de las partículas gramaticales. Forzado a explicar la falta de un índice analítico, acostumbro indicar que, si lo tuviera, la entrada que más se consultaría sería la siguiente: "Paradigma, 1-172, *passim*." Las críticas, sean comprensivas o no, coinciden en subrayar el gran número de sentidos diferentes que le doy al término.[2] Un comentarista, quien pensó que

* Reimpreso con autorización de *The Structure of Scientific Theories*, Frederick Suppe, compilador (Urbana: University of Illinois Press, 1974), pp. 459-482. *Copyright* 1974 de la Board of Trustees of the University of Illinois.

[1] Otros problemas y fuentes de malentendidos se analizan en mi ensayo "Logic of Discovery or Psychology of Research", en *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos y A. Musgrave, compiladores (Cambridge: Cambridge University Press, 1970). Ese libro, que incluye también una extensa "Response to Critics", constituye el cuarto volumen de los documentos del International Colloquium in the Philosophy of Science, celebrado en el Bedford College, de Londres, en julio de 1965. Se ha preparado, para la traducción al japonés, un análisis más breve pero también más equilibrado de las reacciones críticas a la *Structure of Scientific Revolutions* (Chicago: University of Chicago Press, 1962). Se ha empezado a incluir una versión, en inglés, de ese análisis en las ulteriores ediciones realizadas en Estados Unidos. Partes de estos escritos empiezan en donde éste termina y esclarecen entonces las relaciones de las ideas desarrolladas aquí con nociones como las de inconmensurabilidad y revoluciones.

[2] El análisis más reflexivo y de todo punto más negativo de este problema es el de Dudley Shapere, "The Sctructure of Scientific Revolutions", *Philosophical Review*, 73 (1964): 383-394.

valía la pena realizar un escrutinio sistemático, preparó un índice analítico parcial y encontró por lo menos veintidós usos diferentes, que van desde "una realización científica concreta" (p. 11) hasta "conjunto característico de creencias e ideas preconcebidas" (p. 17), incluidos en este último compromisos instrumentales, teóricos y metafísicos (pp. 39-42).[3] Si bien ni el compilador del índice ni yo pensamos que la situación sea tan desesperada como lo sugieren esas divergencias, es obvio que hace falta aclarar las cosas. No bastará desde luego con una mera aclaración. Independientemente de su número, los usos de "paradigma", en el libro, se dividen en dos conjuntos que requieren tanto de nombres como de análisis separados. Nuestro sentido de "paradigma" es global, y abarca todos los compromisos compartidos de un grupo científico; el otro aísla una clase de compromiso, especialmente importante, y es, por consiguiente, un subconjunto del primer sentido. En los párrafos que siguen trataré de desenredarlos y luego de examinar las necesidades más urgentes que exigen atención filosófica. Por imperfectamente que haya entendido los paradigmas cuando escribí el libro, sigo pensando que vale la pena estudiarlos con detenimiento.

En el libro, el término "paradigma" se halla en estrecha proximidad, tanto física como lógica, de la frase "comunidad científica" (pp. 10-11). Un paradigma es lo que los miembros de una comunidad científica, y sólo ellos, comparten. A la inversa, es su posesión de un paradigma común lo que constituye una comunidad científica, formada a su vez por hombres diferentes en todos los demás aspectos. Como generalizaciones empíricas, ambos enunciados son defendibles. Pero en el libro funcionan, por lo menos en parte, como definiciones, y el resultado es una circularidad con algunas consecuencias viciosas.[4] Para dar una explicación clara del término "paradigma", debe comenzarse por reconocer que las comunidades científicas tienen existencia independiente.

[3] Margaret Masterman, "The Nature of a Paradigm", en *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos, y A. Musgrave, compiladores. Las referencias de páginas entre paréntesis, en el texto, conciernen a mi *Structure of Scientific Revolutions* [ed cit.].

[4] La más dañina de estas consecuencias es la que resulta del uso que hago del término "paradigma" para distinguir un periodo previo de otro posterior en el desarrollo de una ciencia determinada. Durante lo que llamé el "periodo de preparadigma" —en *La estructura de las revoluciones científicas*—, los profesionales de una ciencia están divididos en varias escuelas rivales, cada una de las cuales proclama su capacidad para el mismo asunto, pero cada una de ellas también enfocándolo de manera diferente. A esta

La identificación y el estudio de las comunidades científicas ha surgido recientemente como tema de investigación importante entre los sociólogos. Los resultados preliminares, muchos de ellos no publicados todavía, indican que las técnicas empíricas que hacen falta son no triviales, pero algunas ya existen y otras es seguro que serán inventadas.[5] La mayoría de los científicos profesionales responden de inmediato a preguntas acerca de sus afiliaciones a una comunidad, dando por descontado que la responsabilidad de las diversas especialidades y técnicas de investigación actuales se distribuye entre grupos de una membresía más o menos determinada. Supondré, por tanto, que están por llegar medios más sistemáticos para identificar dichas comunidades y, por el momento, me contento con una breve articulación de una noción intuitiva de comunidad, compartida ampliamente por científicos, sociólogos y varios historiadores de la ciencia.

Una comunidad científica se compone, desde este punto de vista, de los profesionales de una especialidad científica. Unidos por elementos comunes y por educación y noviciado, se ven a sí mismos, y los demás así los ven, como los responsables de la lucha por la consecución de un conjunto de objetivos compartidos, entre los que figura la formación de sus sucesores. Tales comunidades se caracterizan por la comunicación, casi completa dentro del grupo, y por la unanimidad relativa del juicio grupal en asuntos profesionales. En grado notable, los miembros de una comunidad dada habrán absorbido la misma literatura y ex-

etapa de desarrollo sigue una transición, relativamente rápida, de ordinario como secuela de un avance científico notable, hacia un periodo llamado posparadigma, caracterizado por la desaparición de todas o casi todas las escuelas, cambio que les permite a los miembros de la comunidad científica una conducta de gran eficacia profesional. Sigo pensando que esta pauta es tan característica como importante, pero puede analizarse sin referencia a la primera realización de un paradigma. Independientemente de lo que sean los paradigmas, son patrimonio de la comunidad científica, incluidas las escuelas del llamado periodo preparadigma. Mi falla en ver claramente ese punto ha contribuido a hacer que el paradigma parezca una entidad cuasimítica, o propiedad que, como el carisma, transforma a todos a los que infecta. Hay una transformación, sí; pero ésta no es inducida por la adquisición del paradigma.

[5] W. O. Hagstrom, *The Scientific Community* (Nueva York: Basic Books, 1965), caps. 4 y 5; D. J. Price y D. de B. Beaver, "Collaboration in an Invisible College", *American Psychologist*, 21 (1966): 1011-1018; Diana Crane, "Social Structure in a Group of Scientists: A Test of the 'Invisible College' Hipothesis", *American Sociological Review*, 34 (1969): 335-352; N. C. Mullins, "Social Networks among Biological Scientists" (tesis doctoral, Harvard University, 1966), y "The Development of a Scientific Specialty", *Minerva*, 10 (1972): 51-82.

traído lecciones semejantes de ella.[6] Como la atención de comunidades diferentes se enfoca en asuntos diferentes, la comunicación profesional entre grupos es bastante difícil, a menudo da lugar a malentendidos, y si persiste origina desacuerdos importantes.

En ese sentido, las comunidades existen en numerosos niveles. Quizá todos los científicos naturales formen una comunidad. (Creo que no debiéramos permitir que los nubarrones que rodean a C. P. Snow oscurezcan esos puntos acerca de los cuales él ha dicho lo obvio.) En un nivel levemente inferior, los principales grupos de científicos profesionales dan lugar a ejemplos de comunidades: los físicos, los químicos, los astrónomos, los zoólogos, etc. Respecto de estas comunidades principales, es fácil establecer la pertenencia a un grupo dado, salvo en las fronteras. Respecto del grado más alto, son más que suficientes la pertenencia a sociedades profesionales y las publicaciones leídas. Con técnicas similares, se podría aislar a los subgrupos principales: los químicos orgánicos y quizá los químicos de las proteínas entre ellos, los físicos del estado sólido y de las altas energías, los radioastrónomos, y así sucesivamente. Las dificultades surgen en el nivel inmediatamente inferior. ¿Cómo podría aislarse antes de su aclamación pública el grupo dedicado a los bacteriófagos? Para esto, debe recurrirse a institutos de verano y conferencias especiales, a listas de distribución de sobretiros y, principalmente, a redes de comunicación formales e informales, incluidos los vínculos entre citas.[7] Creo que el trabajo puede hacerse y se hará, y que sus resultados característicos consistirán en comunidades de quizá cien miembros, y a veces significativamente menos. Los científicos, como individuos y particularmente los mejores, pertenecerán a varios de tales grupos, ya sea simultánea o sucesivamente. Aunque no está claro todavía hasta dónde podrá llevarnos el análisis empírico, hay buenas razones para

[6] Para el historiador, de ordinario no poseedor de las técnicas de entrevista y cuestionario, los materiales de fuentes compartidas suelen ser los más reveladores de indicios importantes sobre la estructura de la comunidad. Ésa es una de las razones de que obras tan leídas, como los *Principia* de Newton, sean llamadas tan frecuentemente paradigmas en *La estructura de las revoluciones científicas*. Debiera describirlas ahora como fuentes, de particular importancia, de los elementos de la matriz disciplinaria de una comunidad.

[7] E. Garfield, *The Use of Citation Data in Writing the History of Science* (Filadelfia: Institute for Scientific Information, 1964); M. M. Kessler, "Comparison of the Results of Bibliographic Coupling and Analytic Subject Indexing", *American Documentation*, 16 (1965): 223-233; D. J. Price, "Networks of Scientific Papers", *Science*, 149 (1965): 510-515.

suponer que la empresa científica está distribuida entre comunidades de esta índole, las cuales tienen también la tarea de llevarla adelante.

Permítaseme suponer ahora que, mediante las técnicas que sean, identificamos una de tales comunidades. ¿Qué elementos compartidos explican el carácter de la comunicación profesional, relativamente carente de problemas, y la unanimidad también relativa del juicio profesional? A esta pregunta, *La estructura de las revoluciones científicas* contesta: "un paradigma" o "un conjunto de paradigmas". Éste es uno de los dos sentidos principales que el término tiene en el libro. Para éste, podría adoptar ahora la notación "paradigma$_1$", pero se producirá menos confusión denotándolo con la frase "Matriz disciplinaria" —"disciplinaria" porque es la posesión común de los profesionales de una disciplina y "matriz" porque se compone de elementos ordenados de diversas maneras, cada una de las cuales hay que especificar—. Los componentes de la matriz disciplinaria incluyen la mayoría, o todos los objetos, del compromiso de grupo descrito en el libro como paradigmas, partes de paradigmas o paradigmático.[8] No me propongo hacer aquí una lista exhaustiva, por lo que sólo identificaré tres de éstos que, siendo esenciales para la operación cognoscitiva del grupo, deben interesar particularmente a los filósofos de la ciencia. Permítaseme llamarlos generalizaciones simbólicas, modelos y ejemplares.

Los primeros dos son objetos ya familiares de la atención filosófica. Las generalizaciones simbólicas, en especial, son aquellas expresiones, empleadas sin cuestionamiento por el grupo, que pueden verterse fácilmente en alguna forma lógica como $(x)\ (y)\ (z)\ \phi\ (x, y, z)$. Son los componentes formales, o fáciles de formalizar, de la matriz disciplinaria. Los modelos, de los cuales ya no tengo más que decir en este artículo, proveen al grupo de analogías preferentes o, cuando se sostienen profundamente, de una ontología. Por una parte, son heurísticos: el circuito eléctrico puede considerarse, provechosamente, como un sistema hidrodinámico en estado estable, o el comportamiento de un gas, como el de una colección de microscópicas bolas de billar en movimiento aleatorio. Por otra parte, son los objetos del compromiso metafísico: el calor de un cuerpo *es* la energía cinética de sus partículas componentes, o, más obviamente metafísico, todos los fenómenos perceptibles se deben al movimiento y a la interacción de átomos

[8] Véase *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 38-42.

cualitativamente neutrales, en el vacío.[9] Por último, los ejemplares son soluciones de problemas concretos aceptadas por el grupo como paradigmáticas en el sentido usual del término. Muchos de ustedes estarán suponiendo ya que el término "ejemplar" es el nombre para denotar el segundo, y "más" fundamental, sentido de "paradigma".

Pienso que para entender la forma en que funciona una comunidad científica, como productora y validadora de conocimiento sólido, debemos entender en última instancia la operación de por lo menos tres de estos componentes de la matriz disciplinaria. Las alteraciones de cualquiera de ellos pueden producir cambios en la conducta científica, que afecten tanto al lugar de un grupo de investigación como a sus normas de verificación. No trataré de defender aquí una tesis tan general. Me concentraré por el momento en los ejemplares. Para poder ocuparme de ellos, sin embargo, debo decir algo antes sobre las generalizaciones simbólicas.

En las ciencias, particularmente en la física, las generalizaciones suelen encontrarse ya en forma simbólica: $f = ma$, $I = V/R$ o $\nabla^2\psi + \frac{8\,\pi^2\,m\,(E-V)\,\psi}{h^2}$ o $8\,\pi^2\,m\,(E-V)\,\psi/h^2 = O$. Otras se expresan en palabras: "La acción es igual a la reacción", "La composición química está en proporciones fijas por peso", o "Todas las células provienen de células". Nadie negará que los miembros de una comunidad científica emplean por costumbre expresiones como éstas en su trabajo, que lo hacen así ordinariamente sin necesidad de justificación especial y que raras veces son atacados en tales puntos por los demás miembros de su grupo. Esa conducta es importante, pues sin un compromiso compartido respecto de un conjunto de generalizaciones simbólicas, la lógica y las matemáticas no se aplicarían rutinariamente en el trabajo de la comunidad. El ejemplo de la taxonomía sugiere que una ciencia pueda existir con pocas de tales generalizaciones, y tal vez con ninguna. Más adelante indicaré cómo podría ser éste el caso. Pero no veo razón para poner en duda la impresión generalizada de que el poder de una ciencia aumenta con el número de generalizaciones simbólicas de que disponen sus practicantes.

[9] No es usual incluir, digamos, átomos, campos o fuerzas que actúan a distancia bajo el rubro de modelos, pero ahora no veo nada perjudicial en ese uso tan extendido. Obviamente, el grado de compromiso de una comunidad varía al pasar de modelos heurísticos a modelos metafísicos, pero parece mantenerse igual la naturaleza de las funciones cognoscitivas de los modelos.

Nótese, sin embargo, la pequeña medida de concordancia que le hemos atribuido a los miembros de nuestra comunidad. Cuando digo que comparten un compromiso respecto de, digamos, la generalización simbólica $f = ma$, quiero decir que no le acarrea dificultades a quien escribe en sucesión los cuatro símbolos f, $=$, m y a: a quien manipule la expresión resultante por medio de la lógica y las matemáticas, y a quien muestre un resultado todavía simbólico. En este punto de la discusión, para nosotros, aunque no para los científicos que los emplean, estos símbolos y las expresiones formadas al combinarlos no están interpretados, están desprovistos todavía de significados empíricos o de aplicación. Un compromiso compartido respecto de un conjunto de generalizaciones justifica la manipulación lógica y la matemática e induce un compromiso con respecto al resultado. No necesita implicar concordancia, sin embargo, sobre la manera como los símbolos, uno por uno y colectivamente, van a ser correlacionados con los resultados del experimento y de la observación. Hasta aquí, las generalizaciones simbólicas compartidas funcionan todavía como expresiones que se dan dentro de un sistema matemático puro.

La analogía entre teoría científica y sistema matemático puro ha sido explotada ampliamente por la filosofía de la ciencia de nuestro siglo, y gracias a ello disponemos de algunos resultados que son de lo más interesante. Pero es tan sólo una analogía y, por tanto, puede crear confusión. Creo que en varios aspectos hemos sido víctimas de ella. Veamos una confusión que viene al caso aquí.

Cuando una expresión como $f = ma$ aparece en un sistema matemático puro, por así decirlo, está allí de una vez y para siempre. Es decir, si entra en la solución de un problema matemático planteado dentro del sistema, entra siempre en la forma $f = ma$ o bien en una forma reducible a ésta por la sustitutividad de identidades o por alguna otra regla de sustitución sintáctica. En las ciencias, las generalizaciones simbólicas se comportan ordinariamente de modo muy distinto. No hay tanto generalizaciones como esquemas de generalización, formas esquemáticas cuya expresión simbólica detallada varía de una aplicación a otra. Para el problema de la caída libre, $f = ma$ se convierte en $mg = md^2s/dt^2$. Para el péndulo simple, se convierte en $mg \text{ Sen}\theta = -md^2s/dt^2$. Para los osciladores armónicos acoplados, se convierte en dos ecuaciones, la primera de las cuales puede escribirse $m_1d^2s_1dt^2 + k_1s_1 = k_2 (d + s_2 - s_1)$. Los problemas más interesantes de la mecánica, por ejemplo, el movimiento de un giroscopio, mostrarán mayor disparidad aún entre $f = ma$ y la generalización simbólica real a la cual se

aplican la lógica y las matemáticas; pero ya debe estar aclarado el punto. Aunque las expresiones simbólicas no interpretadas son la posesión común de los miembros de una comunidad científica, y aunque tales expresiones son las que le dan al grupo un punto de entrada para la lógica y las matemáticas, estos instrumentos no se aplican a la generalización compartida sino a una u otra versión especial de ella. En cierto sentido, cada una de tales clases requiere de un formalismo nuevo.[10]

De aquí se extrae una interesante conclusión, que probablemente viene al caso de la situación de los términos teóricos. Los filósofos que presentan las teorías científicas como sistemas formales no interpretados subrayan frecuentemente que la referencia empírica entra en tales teorías de abajo hacia arriba, moviéndose de un vocabulario básico, con significado empírico, hasta los términos teóricos. A pesar de las dificultades, bien conocidas, que encierra la noción de vocabulario básico, no pongo en duda la importancia de esa ruta en la transformación de un símbolo no interpretado en el signo de un concepto físico en particular. Pero ésa no es la única ruta. En la ciencia, los formalismos se relacionan con la naturaleza también "arriba", sin que medie deducción alguna para eliminar los términos teóricos. Antes de que el científico pueda empezar las operaciones lógicas y matemáticas que culminan con la predicción de lecturas de medidas, debe inscribir la forma particular de $f = ma$ que se aplica, digamos, a la cuerda que vibra o la forma particular de la ecuación de Schroedinger correspondiente, por ejemplo, al átomo de helio en un campo magnético. Cualquiera que sea el procedimiento que siga, éste no podrá ser puramente sintáctico. El contenido empírico debe ingresar en las teorías formalizadas desde arriba y también desde abajo.

Creo que no puede uno evadir esta conclusión sugiriendo que la ecuación de Schroedinger o $f = ma$ puede construirse como una abreviatura para la conjunción de las numerosas y particulares formas

[10] No puede evadirse esta dificultad enunciando las leyes de la mecánica newtoniana en forma, digamos, lagrangiana o hamiltoniana. Por lo contrario, las segundas formulaciones son explícitamente bosquejos de leyes, pero no leyes propiamente dichas, como tampoco lo es la formulación newtoniana de la mecánica. Partiendo de las ecuaciones de Hamilton o de las de Lagrange, hay que escribir todavía una ecuación hamiltoniana o lagrangiana para el problema de que se trate. Nótese, sin embargo, que una de las ventajas de estas formulaciones es que hacen mucho más fácil identificar el formalismo particular que convenga a un problema dado. Contrastadas con la formulación de Newton, ilustran una de las direcciones características que sigue el desarrollo científico.

simbólicas que estas expresiones adoptan para ser aplicadas a problemas físicos concretos. En primer lugar, los científicos seguirían necesitando criterios que les informasen qué versión simbólica en particular debe aplicarse a tal o cual problema. Y estos criterios, como las reglas de correlación, de las que se dice que transportan el significado de un vocabulario básico a términos teóricos, serían el vehículo del contenido empírico. Además, ninguna conjunción de formas simbólicas particulares agotaría lo que puede decirse que saben los miembros de una comunidad científica acerca de la manera de aplicar generalizaciones simbólicas. Al enfrentarse a un acertijo nuevo, ordinariamente concuerdan sobre la expresión simbólica particular apropiada a él, aunque ninguno de ellos la haya visto antes.

Toda explicación del aparato cognoscitivo de una comunidad científica debe decirnos algo sobre la manera como los miembros del grupo, antes de las pruebas empíricas *directamente* pertinentes al caso, identifican el formalismo especial que se adecua a un problema en particular, especialmente a un problema nuevo. Ésa es claramente una de las funciones que debe desempeñar el conocimiento científico. Desde luego, no siempre lo hace tan correctamente; hay lugar, mejor dicho, necesidad, de comprobar empíricamente un formalismo especial propuesto por un problema nuevo. Los pasos deductivos y la comparación de sus productos finales con el experimento siguen siendo condiciones esenciales de la ciencia. Pero, regularmente, los formalismos especiales son aceptados como plausibles o rechazados como implausibles desde antes del experimento. Con frecuencia notable, además, los juicios de la comunidad resultan ser correctos. Por eso es que idear un formalismo especial, una versión nueva de la formalización, no es lo mismo que inventar una teoría nueva. Entre otras cosas, lo primero puede enseñarse, pero no lo segundo. A eso se debe que los problemas que se presentan al final de los capítulos de los textos científicos estén dedicados a esa enseñanza. ¿Qué es lo que aprenden los estudiantes al resolverlos?

A responder esta pregunta está dedicada casi toda la parte restante de este artículo, pero la trataré indirectamente, haciendo primero otra pregunta más usual: ¿cómo relacionan los científicos las expresiones simbólicas con la naturaleza? Aquí hay, en realidad, dos preguntas fundadas en una sola, pues puede inquirirse sobre una generalización simbólica especial, concebida para una situación experimental dada, o

sobre una consecuencia simbólica singular de esa generalización, deducida por comparación con el experimento. Pero, para lo que aquí nos ocupa, podemos tratar estas dos preguntas como una sola, tal y como ocurre ordinariamente en la práctica científica.

Desde que se abandonó la esperanza de tener un lenguaje de datos sensoriales, la respuesta se ha dado en términos de reglas de correspondencia. Se han tomado éstas como definiciones operacionales de términos científicos, o como un conjunto de condiciones necesarias y suficientes para la aplicabilidad de los términos.[11] No dudo de que el examen de una comunidad científica dada revelaría varias de tales reglas, que serían compartidas por sus miembros; probablemente otras podrían ser inducidas legítimamente de una observación cuidadosa de la conducta de dichos miembros. Pero, por razones que ya di en otra parte y que apuntaré más adelante, no cuestiono que las reglas de correspondencia de esta manera serían suficientes, en número o en fuerza, para explicar las correlaciones reales entre formalismo y experimento, que son hechas, regularmente y sin problemas, por los miembros

[11] Desde que se leyó este escrito, me he dado cuenta de que, al omitir las dos cuestiones mencionadas en el párrafo anterior, se introduce una posible fuente de confusión en este punto y más adelante. En el uso filosófico normal, las reglas de correspondencia conectan palabras sólo con otras palabras; no con la naturaleza. Así, los términos teóricos adquieren significado mediante las reglas de correspondencia, que las vinculan con un vocabulario básico ya significativo. Sólo este último es el que se relaciona directamente con la naturaleza. Parte de mi argumento se dirige a esta concepción normal y, por tanto, no debiera crear problemas. La distinción entre vocabulario teórico y vocabulario básico no viene al caso en su forma presente, pues se puede demostrar que muchos términos teóricos se vinculan con la naturaleza de la misma manera, cualquiera que ésta sea, que los términos básicos. Pero estoy preocupado además por investigar de qué manera opera esa "vinculación directa", sea de un vocabulario teórico o de un vocabulario básico. Mientras tanto, ataco la suposición, a menudo implícita, de que quienquiera que sepa usar correctamente un término básico tiene acceso, consciente o inconsciente, a un conjunto de criterios que definen ese término o dan las condiciones necesarias y suficientes para regir su aplicación. Por ese modo de vinculación por criterios, estoy empleando aquí el término de "regla de correspondencia", que viola el uso normal. Mi excusa por extenderme demasiado consiste en mi creencia de que la confianza explícita en las reglas de correspondencia y la confianza implícita en los criterios introduce el mismo procedimiento y desvía la atención de las mismas maneras. Con ambas, el empleo del lenguaje parece ser, más de lo que ya es, materia de convención. En consecuencia, ocultan la medida en que el hombre que adquiere un lenguaje cotidiano o científico aprende simultáneamente cosas acerca de la naturaleza, las cuales no están incorporadas en las generalizaciones verbales.

del grupo.[12] Si el filósofo desea un cuerpo adecuado de reglas de correspondencia, él mismo tendrá que dar la mayoría de ellas.[13]

Es casi seguro que el filósofo pueda hacer este trabajo. Examinando muestras de la práctica pasada de la comunidad, el filósofo, para explicarlas, puede contar con la posibilidad razonable de construir un conjunto de reglas de correspondencia adecuadas, aunado a generalizaciones simbólicas conocidas. Muy probablemente, podrá construir varios conjuntos opcionales. Deberá ser, sin embargo, extraordinariamente precavido al describir cualquiera de ellas como una reconstrucción de las reglas mantenidas por la comunidad en estudio. Aunque cada uno de sus conjuntos de reglas sería equivalente con respecto a la práctica pasada de la comunidad, no tiene por qué serlo también al aplicarlo al siguiente problema que aparezca dentro de ese campo. En ese sentido, serían reconstrucciones de teorías algo diferentes, ninguna de las cuales tendría que ser, forzosamente, la sostenida por el grupo. Comportándose como científico, bien podría el filósofo mejorar la teoría del grupo, pero, como filósofo, a la mejor no podría analizarla.

Supóngase, por ejemplo, que el filósofo está interesado por la ley de Ohm, $I = V/R$, y que sabe que los miembros del grupo en estudio miden el voltaje con un electrómetro y la corriente con un galvanómetro. Al buscar una regla de correspondencia para la resistencia,

[12] Véase *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 43-51.

[13] Creo que es notable la poca atención que los filósofos de la ciencia le prestan al vínculo lenguaje-naturaleza. Seguramente, la fuerza epistemológica de la actividad de los formalistas depende de la posibilidad de librarla de problemas. Sospecho que una de las razones de tal negligencia consiste en el no percatarse de cuánto se ha perdido, desde el punto de vista epistemológico, en la transición de un lenguaje del dato sensorial a un vocabulario básico. Mientras el primero pareció ser viable, las definiciones y las reglas de correspondencia no reclamaron atención especial. "Mancha verde ahí", apenas si requería de mayor especificación operacional; "La bencina hierve a 80°C" es, sin embargo, una clase de enunciado muy diferente. Además, como indicaré más adelante, han fundido, frecuentemente, la tarea de *mejorar* la claridad y la estructura de los elementos formales de una teoría científica con el trabajo, muy diferente, de *analizar* el conocimiento científico, y sólo en esta última tarea es en donde se originan los problemas que estamos tratando. Hamilton hizo una formulación de la mecánica newtoniana mejor que la de Newton, y el filósofo puede tener la esperanza de mejorarla más todavía con una mayor formalización. Pero éste no podrá dar por hecho que saldrá con la misma teoría con la que empezó, ni que los elementos formales de una u otra versión de la teoría serán coextensivos con la propia teoría. Sobre un ejemplo característico de la suposición de que un formalismo perfeccionado es *ipso facto* una descripción del conocimiento desplegado por la comunidad que emplea el formalismo por mejorarse, véase Patrick

puede decidirse por el cociente del voltaje entre la corriente, caso en el cual la ley de Ohm se convierte en una tautología. O, en lugar de ello, puede decidirse por correlacionar el valor de la resistencia con los resultados de mediciones hechas con el puente de Wheatstone, caso en el que la ley de Ohm da información sobre la naturaleza. Con respecto a la práctica pasada, quizá las dos reconstrucciones sean equivalentes, pero éstas no prescriben que la conducta futura vaya a ser la misma. Imagínese, en particular, que un fanático del experimento, miembro de la comunidad, aplica voltajes mayores de los que nunca antes se han aplicado, y descubre que la razón del voltaje a la corriente cambia gradualmente con el voltaje muy elevado. De acuerdo con la segunda reconstrucción, la del puente de Wheatstone, ha descubierto que hay desviaciones de la ley de Ohm en los voltajes elevados. En la primera reconstrucción, sin embargo, es una tautología, y las desviaciones de ella son inimaginables. El experimentalista ha descubierto no una desviación con respecto a la ley sino más bien que la resistencia cambia con el voltaje. Cada una de las reconstrucciones lleva a una localización diferente de la dificultad y a una pauta diferente de investigación posterior.[14]

No hay nada en la discusión anterior que demuestre que no hay un conjunto de reglas de correspondencia adecuadas para explicar el

Suppes, "The Desirability of Formalization in Science", *Journal of Philosophy*, 65 (1968): 651-664.

[14] Un ejemplo menos artificial exigiría la manipulación simultánea de varias generalizaciones simbólicas y demandaría más espacio del que se dispone. Pero no son difíciles de encontrar los ejemplos históricos que muestran los efectos diferentes de las generalizaciones tenidas por leyes y definiciones (véase la discusión de Dalton y la controversia Proust-Berthollet en la *Structure of Scientific Revolutions*, pp. 129-134); tampoco el ejemplo presente carece de fundamento histórico. Ohm midió la resistencia dividiendo la corriente entre el voltaje (tensión). Su ley dio así parte de una definición de resistencia. Una de las razones de que haya sido tan difícil de aceptar (la omisión de Ohm es uno de los ejemplos más famosos de resistencia a la innovación que contiene la historia de la ciencia) consiste en que era incompatible con el concepto de resistencia que se aceptaba antes del trabajo de Ohm. Precisamente porque exigía redefinir los conceptos relativos a la electricidad, la asimilación de la ley de Ohm produjo una revolución en la teoría sobre la electricidad. (Para partes de esta historia, véase T. M. Brown, "The Electric Current in Early Nineteenth-Century Electricity", *Historical Studies in the Physical Sciences*, 1 (1969): 61-103, y M. L. Schagrin, "Resistance to Ohm's Law", *American Journal of Physics*, 31 (1963): 536-547). Sospecho que, en términos generales, las revoluciones científicas pueden distinguirse de los avances científicos normales en que las primeras requieren la modificación de las generalizaciones anteriormente consideradas cuasianalíticas. ¿Descubrió Einstein la relatividad de la simultaneidad o destruyó una implicación tautológica de ese término?.

comportamiento de la comunidad en estudio. Es muy difícil demostrar una negativa de esa índole. Pero la discusión puede llevarnos a tomar un poquito más en serio algunos aspectos de la formación y la conducta científicas, aspectos que los filósofos se las han arreglado para mirar transparentemente. En los libros de texto o en la enseñanza de la ciencia, se encuentran muy pocas reglas de correspondencia. ¿Cómo han adquirido los miembros de una comunidad científica un conjunto suficiente? Es digno de observarse que cuando un filósofo les pide tales reglas por lo regular los científicos niegan que eso tenga importancia, y de ahí en adelante queda muchas veces obstaculizada la comunicación. Cuando cooperan, las reglas que presentan pueden variar de un miembro de la comunidad a otro, y todas pueden ser defectuosas. Se comienza uno a preguntar si se emplean más de unas cuantas reglas en la práctica de la comunidad, si no hay alguna otra forma en que los científicos correlacionen sus expresiones simbólicas con la naturaleza.

Un fenómeno familiar tanto para los estudiantes de ciencias como para los historiadores puede darnos un indicio. Habiendo sido ambas cosas, hablaré de mi propia experiencia. Los estudiantes de física informan regularmente que han leído todo un capítulo de su libro, que lo han entendido perfectamente, pero que, a pesar de ello, tienen dificultades para resolver los problemas que se les presentan al final del capítulo. Casi invariablemente, su dificultad estriba en establecer las ecuaciones adecuadas, en relacionar las palabras y los ejemplos dados en el texto con los problemas que se les pide que resuelvan. También, ordinariamente, esas dificultades se desvanecen de la misma manera. El estudiante descubre una manera de ver su problema igual a otro que ya resolvió. Una vez vista esa igualdad o analogía, sólo quedan por delante dificultades de operación.

La misma pauta se muestra claramente en la historia de la ciencia. El científico modela la solución a un problema basándose en otro, a menudo recurriendo mínimamente a generalizaciones simbólicas. Galileo descubrió que una bola que rueda hacia abajo de un plano inclinado adquiere exactamente la velocidad necesaria para volver a la misma altura vertical sobre otro plano inclinado de cualquier pendiente, y aprendió a ver esa situación experimental como el péndulo con una masa puntual en calidad de peso. Huyghens resolvió luego el problema del centro de oscilación de un péndulo físico, imaginando que el cuerpo extenso de este último se componía de péndulos puntuales galileanos, cuyos vínculos se liberaban instantáneamente en cual-

quier punto de la oscilación. Liberados los vínculos, cada uno de los péndulos puntuales oscilaba libremente, pero su centro de gravedad común, como en el péndulo de Galileo, se elevarían únicamente hasta la altura de la cual había comenzado a caer el centro de gravedad del péndulo extenso. Por último, Daniel Bernoulli, todavía sin ayuda de las leyes de Newton, descubrió la manera de hacer que el flujo de agua que salía por un orificio paracticado en un tanque se asemejase al péndulo de Huyghens. Determínese el descenso del centro de gravedad del agua que hay en el tanque y en el chorro durante un intervalo de tiempo infinitesimal. En seguida, imagínese que cada partícula de agua se mueve separadamente hacia arriba, hasta alcanzar la máxima altura obtenible con la velocidad que poseía al final del intervalo de descenso. El ascenso del centro de gravedad de las partículas separadas debe igualarse entonces al descenso del centro de gravedad del agua del tanque y del chorro. Partiendo del problema así planteado, se encontró la tan buscada velocidad del flujo.[15]

Como me falta tiempo para poner más ejemplos, me limitaré a sugerir que una capacidad aprendida de ver semejanzas entre problemas al parecer ajenos desempeña en las ciencias una parte importante del papel que suele atribuírsele a las reglas de correspondencia. En cuanto un problema nuevo se ve análogo a otro problema ya resuelto, sigue tanto un formalismo adecuado como una manera nueva de ligar sus consecuencias simbólicas con la naturaleza. Habiendo visto la semejanza, simplemente se usan las relaciones que han demostrado ser eficaces en casos anteriores. Creo que esa capacidad para reconocer las semejanzas "autorizadas" por el grupo es lo principal que adquieren los estudiantes al resolver problemas, ya sea con lápiz y papel o bien en un laboratorio bien equipado. En el curso de su formación, se les pone un gran número de tales ejercicios, y los estudiantes que ingresan en la misma especialidad por lo regular hacen casi los mismos, por ejemplo, el plano inclinado, el péndulo cónico, las elipses de Kepler, etc. Estos problemas concretos, con sus

[15] Sobre el ejemplo, véase René Dugas, *A History of Mechanics*, trad. al inglés de J. R. Maddox (Neuchâtel: Éditions du Griffon y Nueva York: Central Book Co., 1955), pp. 135-136, 186-193 y Daniel Bernoulli, *Hydrodynamica, sive de viribus et motibus fluidorum, commentarii opus academicum* (Estrasburgo: J. R. Dulseckeri, 1738), sec. 3. Sobre el grado en que progresó la mecánica durante la primera mitad del siglo XVIII, moldeando soluciones a problemas con base en otras, véase Clifford Truesdell, "Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton's *Principia*", *Texas Quarterly*, 10 (1967): 238-258.

soluciones, son lo que llamé antes "ejemplares": los ejemplos estándar de una comunidad. Constituyen la tercera clase de componente cognoscitivo de la matriz disciplinaria e ilustran la segunda función principal de mi término "paradigma" en *La estructura de las revoluciones científicas*.[16]

Adquirir todo un arsenal de ejemplares, igual que aprender generalizaciones simbólicas, son partes integrales del proceso por el que el estudiante logra llegar a las realizaciones cognoscitivas de su grupo disciplinario.[17] Sin ejemplares, nunca aprendería mucho de lo que el grupo sabe sobre conceptos fundamentales como los de fuerza y campo, elemento y compuesto, o núcleo y célula. Por medio de un ejemplo simple, trataré de explicar someramente la noción de la relación de similitud aprendida, una percepción adquirida de analogía. Pero, primero, permítaseme aclarar el problema al que está destinada la explicación. Es axiomático que cualquier cosa es igual y también diferente a cualquier otra. Acostumbramos decir que esto depende de los criterios empleados para juzgar. A quien habla de similitud o de analogía podemos plantearle, pues, la pregunta: ¿similar con respecto a qué? En este caso, sin embargo, ésta es precisamente la pregunta que no debe hacerse, pues la respuesta nos daría de inmediato reglas de correspondencia. Aprehender ejemplares no le enseñaría al estudiante ninguna otra cosa más que lo mismo que tales reglas, en forma de criterios de semejanza, le enseñan de otra manera. Resolver problemas consistiría entonces en la mera práctica de aplicación de reglas, y no habría necesidad de hablar de similitud.

Resolver problemas, sin embargo, como ya lo demostré, no es eso. Es una tarea que se asemeja más a ese tipo de acertijo infantil en que se

[16] Fue, desde luego, el sentido de "paradigma" como ejemplo normal lo que, en un principio, me hizo decidirme por tal término. Por desgracia, la mayoría de los lectores de *La estructura de las revoluciones científicas* no se dieron cuenta de lo que para mí era la función primordial, y emplean "paradigma" en sentido aproximado al que ahora prefiero llamar "matriz disciplinaria". Veo poco probable recuperar "paradigma" para su uso original, el único propio desde el punto de vista filosófico.

[17] Nótese que los ejemplares —y también los modelos— son determinantes de la infraestructura de la comunidad, mucho más eficaces que las generalizaciones simbólicas. Muchas comunidades científicas comparten, por ejemplo, la ecuación de Schroedinger, y sus miembros se encuentran con esa fórmula en época consecuentemente temprana de su educación científica. Pero, a medida que continúa su formación, hacia, digamos, la física del estado sólido, por una parte, y la teoría del campo por la otra, comienzan a diferir los ejemplares que se encuentra el científico en ciernes. De ahí en adelante, sólo puede decirse que comparten la ecuación de Schroedinger no interpretada, pero no la sí interpretada.

le pide a uno que encuentre las figuras de animales o las caras ocultas dentro de un dibujo de arbustos o nubes. El niño busca formas que son como las de los animales o las caras que conoce. En cuanto las encuentra, éstas ya no vuelven a confundirse con el fondo, pues se ha modificado la forma en que el niño ve el dibujo. De la misma manera, el estudiante de ciencias que se enfrenta a un problema trata de verlo como uno o más de los problemas ejemplares con los que ya se ha encontrado. Desde luego, cuando existen reglas para guiarlo, las emplea. Pero su criterio básico es una percepción de similitud que es previa tanto lógica como psicológicamente a cualquiera de los numerosos criterios conforme a los cuales habría hecho esa misma identificación de la similitud. Después de captada la similitud, puede uno inquirir sobre los criterios, y a menudo vale la pena hacerlo. Pero en realidad no es necesario. Puede aplicarse directamente la predisposición mental o visual adquirida al aprender a ver semejantes dos problemas. Quiero preguntar ahora si, en circunstancias adecuadas, ¿hay alguna manera de procesar datos formando conjuntos de similitud que no dependan de una respuesta previa a la pregunta de similar con respecto a qué?

Mi argumentación comienza con una digresión sobre el término "dato". Filológicamente proviene de "lo dado". Filosóficamente, por razones arraigadas profundamente en la historia de la epistemología, aísla los mínimos elementos estables suministrados por nuestros sentidos. Aunque ya no abrigamos la esperanza de tener un lenguaje del dato sensorial, frases como "verde ahí", "triángulo aquí" o "caliente allá" siguen connotando nuestros paradigmas relativos a un dato, lo dado en la experiencia. En varios respectos, deben desempeñar este papel. No tenemos acceso a elementos de la experiencia "más" mínimos que éstos. Siempre que procesamos conscientemente datos, sea para identificar un objeto, descubrir una ley o inventar una teoría, necesariamente operamos con sensaciones de esta índole o bien con compuestos de ellas. Desde otro punto de vista, sin embargo, las sensaciones y sus elementos no son lo dado. Vistas teóricamente en lugar de en relación con la experiencia, tal término pertenece más bien a los estímulos. Aunque nuestro acceso a ellos es sólo indirecto, vía la teoría científica, son los estímulos, y no las sensaciones, los que chocan con nuestros organismos. Una gran cantidad de procesamiento neutral ocurre entre el momento en que se recibe un estímulo y el momento en que se da la respuesta que es nuestro dato.

No valdría la pena comentar nada de esto si Descartes hubiese tenido razón al establecer una correspondencia biunívoca entre los estímulos y las sensaciones. Pero nosotros sabemos que no existe nada por el estilo. La percepción de un color dado puede producirse por un número infinito de longitudes de onda combinadas de distintos modos. Por el contrario, un estímulo dado puede producir toda una variedad de sensaciones: la imagen de un pato en un recipiente, la imagen de un conejo en otro. Las respuestas como éstas no son enteramente innatas. Se puede aprender a distinguir colores o formas que no eran distinguibles antes del aprendizaje. En grado desconocido todavía, la producción de datos a partir de los estímulos es un procedimiento aprendido. Después del proceso de aprendizaje, el mismo estímulo produce un dato diferente. Concluyo que, aunque los datos son los elementos mínimos de nuestra experiencia individual, tienen que ser también respuestas compartidas a un estímulo dado, sólo entre los miembros de una comunidad educativa, científica o lingüística relativamente homogénea.[18]

Vuelvo a mi argumento principal, pero ahora sin ejemplos científicos. Es inevitable que éstos resulten ser excesivamente complejos. Así, pues, en lugar de ello, les pediré que imaginen a un niño de corta edad, de paseo con su padre por el parque zoológico. El niño ya sabe reconocer aves y distinguir petirrojos. Durante este paseo, aprenderá a identificar cisnes, gansos y patos. Quienquiera que le haya enseñado a un niño en circunstancias como éstas sabe que el primer instrumento pedagógico es la ostensión, es decir, el mostrarle directamente un objeto. Frases como "Todos los cisnes son blancos" tienen un papel que desempeñar, pero no son necesarias. Por el momento, las omitiré de mis consideraciones, pues lo que me propongo es aislar, en su forma más pura, un modo diferente de aprender. Entonces, la educación de Pepe procederá de la siguiente manera. Su padre le muestra un ave, diciéndole: "Mira, Pepe, ése es un cisne." Al poco rato, el propio Pepe señala un ave y dice: "Papá, otro cisne." Pero como el niño no ha aprendido todavía lo que es un cisne debe ser

[18] En *La estructura de las revoluciones científicas*, particularmente en el capítulo X, insisto en que los miembros de comunidades científicas diferentes viven en mundos diferentes y que las revoluciones científicas cambian el mundo en el que trabaja el científico. Quisiera decir ahora que a los miembros de comunidades diferentes se les presentan datos diferentes mediante los mismos estímulos. Nótese, sin embargo, que ese cambio no ocasiona que se vuelvan impropias frases como "un mundo diferente". El mundo dado, sea el cotidiano o el científico, no es mundo de estímulos.

corregido por su padre: "No, Pepe, ése es un ganso". La siguiente vez que Pepe identifica un cisne lo hace correctamente, pero su siguiente "ganso" es, en realidad un pato, por lo que de nuevo es corregido. Después de unos cuantos encuentros más de este tipo, cada uno con su corrección o su reforzamiento adecuados, la capacidad de Pepe para identificar estas aves acuáticas ya es tan grande como la de su padre. La instrucción ha concluido rápidamente.

La pregunta ahora es saber qué le ha ocurrido a Pepe, y aseguro la plausibilidad de la siguiente respuesta. Durante el paseo, se ha reprogramado parte del mecanismo neural por el cual el niño procesa estímulos visuales, y se han modificado los datos que recibe de los estímulos que antes le hacían evocar "aves". Cuando empezó su paseo, el programa neural hizo destacar las diferencias entre cada uno de los cisnes y también entre éstos y los gansos. Hacia el final del paseo, se destacaban caracteres como la longitud y la curvatura del cuello de los cisnes, se habían suprimido otros, y los datos relativos a los cisnes se correspondían unos con otros, a la vez que diferían de los datos relativos a los gansos y a los patos, de una manera que no había ocurrido antes. Las aves que en un principio había visto iguales —y también diferentes— estaban agrupadas ahora en conglomerados distintos dentro del espacio perceptual.

Un proceso de esta índole es fácil de modelar en una computadora; y precisamente me encuentro en las primeras fases de un experimento así. Se introduce en la máquina un estímulo, en forma de una hilera de *n* dígitos ordenados. Allí se les transforma en un dato por la aplicación de una transformación preseleccionada a cada uno de los *n* dígitos, mientras que se aplica otra transformación a cada una de las posiciones que hay dentro de la hilera. Cada uno de los datos así obtenidos es una hilera de *n* números, posición en lo que llamaré un espacio cualitativo *n*-dimensional. En este espacio, la distancia entre dos datos, medida conforme a una métrica euclidiana o no euclidiana que sea también conveniente, representa su similitud. Qué estímulos se transformarán en similares o en datos parecidos dependerá, desde luego, de la elección de las funciones de transformación. Diferentes conjuntos de funciones producen diferentes conglomerados de datos, diferentes pautas de similitud y diferencia en el espacio perceptual. No es necesario que las funciones de transformación sean obra humana. Si se le suministran a la máquina estímulos que puedan ser agrupados en conglomerados, y se le informa qué estímulos deben ser colocados en los mismos conglomerados y cuáles en otros, entonces la

dicha máquina podrá construir por sí misma un conjunto adecuado de funciones de transformación. Nótese que ambas condiciones son esenciales. No todos los estímulos pueden ser transformados para constituir conglomerados de datos. Aun cuando si pudiera hacerse, a la máquina, como al niño, debe decírsele primero cuáles van juntos y cuáles aparte. Pepe no descubrió por sí mismo que había cisnes, gansos y patos. Su papá tuvo que enseñárselo.

Si representamos ahora el espacio perceptual de Pepe en un diagrama de dos dimensiones, el proceso por el que ha pasado se asemeja a la transición de la figura 1 a la figura 2.[19] En la primera, los patos, los gansos y los cisnes están mezclados. En la segunda, están agrupados en conjuntos distintos, con distancias apreciables entre ellos.[20] Como su papá le ha dicho a Pepe que, en efecto, los patos, los gansos y los cisnes son miembros de especies naturales distintas, Pepe tiene derecho a esperar que todos los patos, gansos y cisnes que vea en el futuro caigan naturalmente dentro o en el borde de una de estas especies, y que no encontrará dato alguno que caiga en la región entre ellas. Tal expectativa puede ser violada, quizá durante una visita a Australia. Pero le servirá mientras siga siendo miembro de la comunidad que ha descubierto, de la experiencia, la utilidad y la viabilidad de estas particulares distinciones conceptuales y que ha transmitido la capacidad de hacerlas de una generación a otra.

Al ser programado para reconocer lo que ya sabe su futura comunidad, Pepe ha adquirido información racional. Ha aprendido que estos gansos, patos y cisnes forman especies naturales distintas y que la naturaleza no presenta cisnes-gansos ni gansos-patos. Algunas constelaciones de cualidades van juntas; otras no existen. Si entre las cualidades de sus conglomerados estuviese contenida la agresividad, entonces su paseo hubiese cumplido funciones conductuales tanto como zoológicas. Los gansos, a diferencia de los patos y los cisnes, tienen una voz especial y muerden. Lo que Pepe aprendió vale la pena de saberse. ¿Pero sabe lo que significan los términos "ganso", "pato" y "cisne"? En sentido utilitario, sí, pues puede aplicar estos rótulos

[19] Le agradezco a Sarah Kuhn, a su paciencia y a su lápiz, el haberme hecho estos dibujos.

[20] Se evidenciará más adelante que todo lo especial de este método de procesar estímulos depende de la posibilidad de agrupar los datos en conglomerados con espacios vacíos entre ellos. Sin espacios vacíos, no hay otra opción a la estrategia de procesamiento que, ideada para un mundo de todos los datos posibles, se cifra en definiciones y reglas.

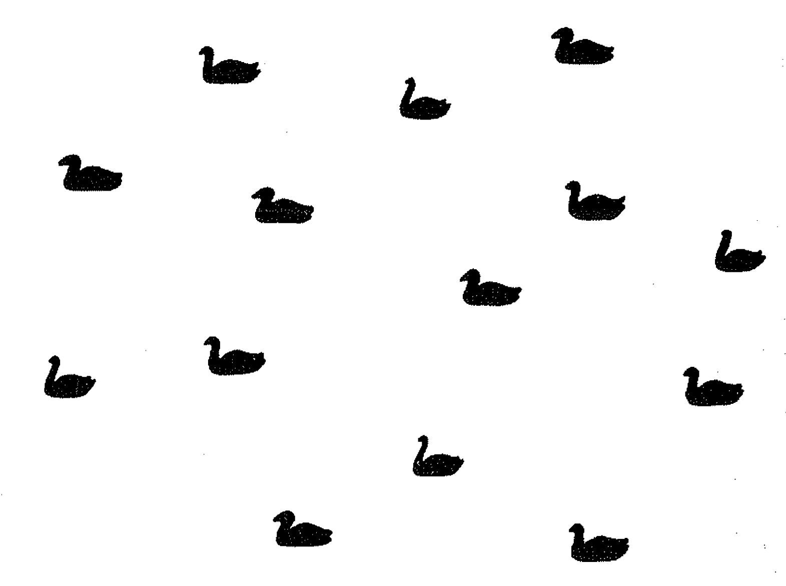


Figura 1

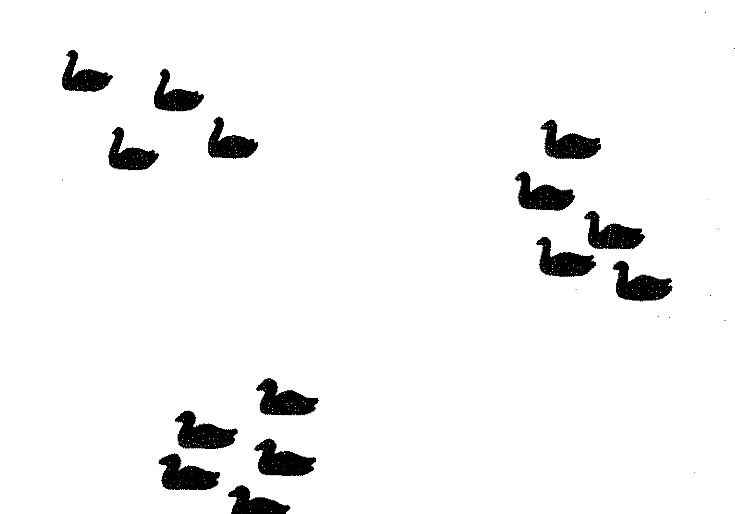


Figura 2

inequívocamaente y sin esfuerzo, extrayendo, al aplicarlos, conclusiones conductuales, ya sea directamente o por medio de enunciados generales. Por otro lado, ha aprendido todo esto sin adquirir, o al menos sin necesidad de adquirir, ningún criterio para identificar cisnes, gansos o patos. Puede señalar un cisne y decirle a usted que debe de haber agua en las cercanías, pero bien puede ser incapaz de decirle a usted qué es un cisne.

En suma, Pepe aprendió a aplicar rótulos simbólicos a la naturaleza, sin nada parecido a definiciones ni reglas de correspondencia. A falta de ellas, emplea una percepción aprendida y no obstante primitiva, de similitud y diferencia. Al adquirir la percepción, ha adquirido también algún conocimiento sobre la naturaleza. En adelante, éste podrá estar incorporado no a generalizaciones ni reglas pero sí a la propia relación de similitud. Debo subrayar que de ninguna manera supongo que la técnica de Pepe es la única por la que se adquiere y almacena el conocimiento. Tampoco creo probable que mucho del conocimiento humano sea adquirido y almacenado con el mínimo recurso de las generalizaciones verbales. Pero exhorto al reconocimiento de la integridad de un proceso cognoscitivo como el que acabo de describir. En combinación con procesos más familiares, como la generalización simbólica y la enseñanza por medio de modelos, creo que sí es esencial para una reconstrucción adecuada del conocimiento científico.

¿Necesito decir que los cisnes, los gansos y los patos que Pepe se encontró durante su paseo son los que he venido llamando ejemplares? Presentados a Pepe junto con sus rótulos respectivos, son soluciones a un problema que los miembros de su comunidad futura ya resolvieron. Asimilarlos es parte del proceso de socialización por el que Pepe se convertirá en parte de esa comunidad y, mientras tanto, aprenderá cosas acerca del mundo en que se encuentra su comunidad. Desde luego, Pepe no es un científico ni lo que aprendió es ciencia todavía. Pero bien puede llegar a ser un científico, y la técnica empleada en su paseo seguirá siendo viable. El uso de ésta será más obvio si se hace taxonomista. Los herbarios, sin los cuales no podría trabajar ningún botánico, son depósitos de ejemplares para uso profesional, y su historia es coextensiva con la de la disciplina a la que apoyan. Pero, en una forma menos pura, la misma técnica es esencial también para las ciencias más abstractas. Ya dije que asimilar soluciones a problemas como el del plano inclinado y el péndulo cónico es parte del aprendizaje de lo que es física newtoniana. Sólo después de haber asimilado un conjunto de tales problemas puede el estudiante o el profesional

pasar a identificar por sí mismo otros problemas newtonianos. Además, esa asimilación de ejemplos es parte de lo que lo capacita para aislar las fuerzas, las masas y los límites dentro de un nuevo problema, así como para escribir un formalismo conveniente para solucionarlo. Pese a su simplicidad excesiva, el caso de Pepe debe sugerir por qué insisto tanto en que los ejemplos compartidos desempeñan funciones cognoscitivas esenciales, previas a la especificación de los criterios con respecto a lo que son ejemplares.

Concluiré mi argumento regresando al asunto decisivo, ya analizado en relación con las generalizaciones simbólicas. Supóngase que los científicos sí asimilan y almacenan el conocimiento contenido en ejemplos compartidos. ¿Tiene entonces el filósofo que participar en el proceso? ¿No puede en lugar de ello estudiar los ejemplos y extraer reglas de correspondencia que, junto con los elementos formales de la teoría, harían superfluos los ejemplos? A esa pregunta ya sugerí la siguiente respuesta. El filósofo está en libertad de sustituir reglas por ejemplos y por lo menos, en principio, puede tener la esperanza de lograr éxito en su tarea. En el proceso, sin embargo, alterará la naturaleza del conocimiento poseído por la comunidad de la cual se extrajeron sus ejemplos. Lo que estará haciendo, en efecto, será sustituir un medio de procesar datos por otro. A menos que sea extraordinariamente cuidadoso, al hacerlo así estará debilitando el conocimiento de la comunidad. E incluso con cuidado, cambiará la naturaleza de las futuras respuestas de la comunidad a algunos estímulos experimentales.

La educación de Pepe, aun cuando no haya sido en ciencia, da una nueva clase de testimonios a favor de estas afirmaciones. Identificar cisnes, gansos y patos mediante reglas de correspondencia, antes que por medio de la similitud percibida, es dibujar curvas cerradas y que no se cortan en torno de cada uno de los conglomerados de la figura 2. Lo que resulta es un sencillo diagrama de Venn, que muestra tres conjuntos que no se traslapan. Todos los cisnes están en uno, todos los gansos en otro, etc. Pero, ¿por dónde deben dibujarse las curvas? Las posibilidades son infinitas. Una de ellas se ilustra en la figura 3, en donde las fronteras están dibujadas muy próximas a la figura de las aves en los tres conjuntos. Dadas tales fronteras, Pepe puede decir ahora cuáles son los criterios para la pertenencia a los conjuntos de los cisnes, los gansos o los patos. Por otro lado, tal vez se vea en problemas la siguiente vez que vea un ave acuática. La forma dibujada en el

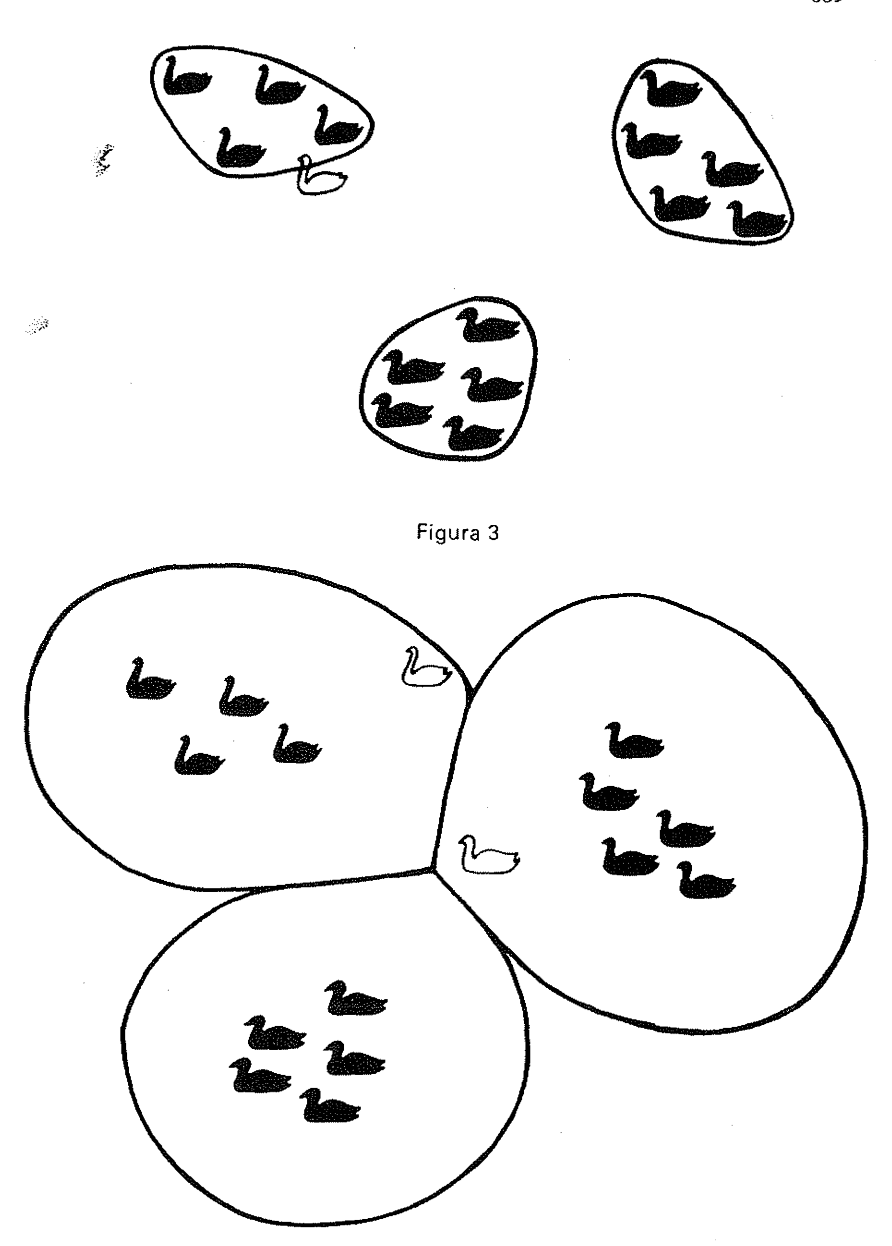


Figura 3

Figura 4

diagrama es obviamente un cisne por el criterio de la distancia percibida, pero no es un cisne, ni un ganso, ni un pato, por las reglas de correspondencia aplicables a la pertenencia a un conjunto dado, las cuales se acaban de introducir.

Por consiguiente las fronteras no deben dibujarse demasiado cerca de los bordes de un conglomerado de ejemplares. Vayamos, pues, al otro extremo, la figura 4, y dibujemos fronteras que agotan la mayoría de las partes pertinentes del espacio perceptual de Pepe. Con esta elección, ningún ave que aparezca cerca de uno de los conglomerados existentes presentará problema, pero al evitar esa dificultad hemos creado otra. Pepe ya sabía que no hay cisnes-gansos. La nueva reconstrucción de su conocimiento lo priva de esa información; en lugar de ella, le da algo que es prácticamente improbable que necesite, el nombre que se aplica al dato de un ave que se encuentra en el espacio vacío entre los cisnes y los gansos. Para remplazar lo que ha perdido, podemos imaginarnos que agregamos al aparato cognoscitivo de Pepe una función de densidad que describa la probabilidad de que se encuentre un cisne en varias posiciones dentro de las fronteras de los cisnes, junto con funciones iguales para los gansos y los patos. Pero el criterio de similitud original ya servía para esto. En efecto, podríamos haber vuelto al mecanismo de procesamiento de datos que habíamos dicho que se remplazaba.

Claro está que ninguna de las más cuidadosas técnicas para dibujar fronteras de conjuntos lo hará. El compromiso indicado en la figura 5 es una mejora obvia. Toda ave que aparezca próxima a uno de los conglomerados existentes pertenece a ese mismo. Toda ave que aparezca entre conglomerados no tiene nombre, pero tampoco es probable que se presente ese dato. Con fronteras de conjuntos como éstas, Pepe debe ser capaz de operar con buenos resultados durante algún tiempo. No ha ganado nada, sin embargo, al sustituir fronteras de conjuntos por su original criterio de similitud, y en realidad ha perdido algo. Si ha de mantenerse la conveniencia estratégica de estas fronteras, no tiene que cambiar su ubicación cada vez que Pepe se encuentre con otro cisne.

La figura 6 muestra lo que tengo en mente. Pepe ha encontrado otro cisne. Está, como debe, completamente dentro de la antigua frontera de conjunto. No hay problema de identificación. Pero puede haberlo la próxima vez, a menos que las fronteras nuevas, que aquí se representan con líneas punteadas, se dibujen tomando en cuenta la forma alterada del conglomerado de los cisnes. Sin el ajuste hacia afuera de

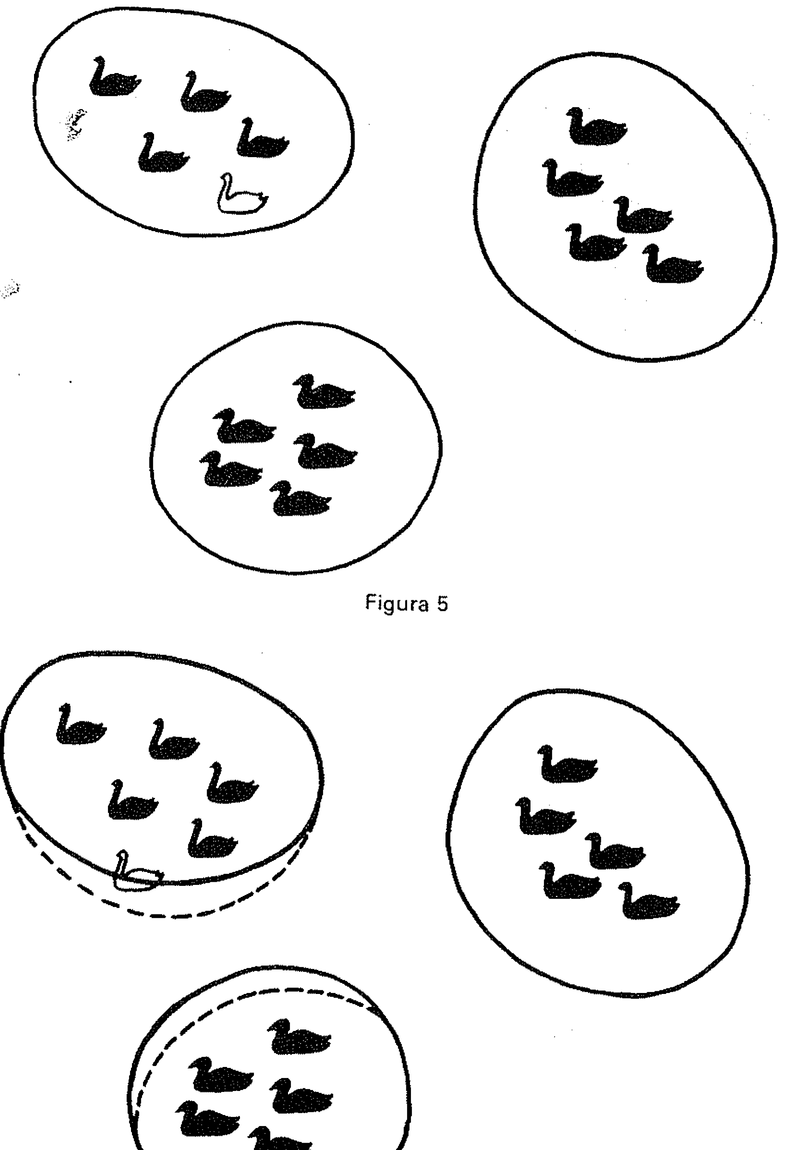


Figura 5

Figura 6

la frontera de los cisnes, la próxima ave que se encuentre Pepe, aunque sea claramente un cisne por el criterio de semejanza, acaso no caiga en la frontera antigua o fuera de ésta. Sin la retracción simultánea de la frontera de los patos, el espacio vacío, que los maestros de Pepe, más experimentados, le han asegurado que puede conservar, se habría vuelto demasiado estrecho. De ser así, cada experiencia nueva puede exigir un ajuste de las fronteras de los conjuntos, y entonces habría que preguntarse si Pepe fue inteligente al permitir que los filósofos dibujaran por él tales fronteras. El primitivo criterio de similitud que había adquirido le habría servido para manejar todos estos casos sin problemas y sin ajustes continuos. Estoy seguro de que hay algo así como cambio de significado o cambio del campo de aplicación de un término. Pero sólo la noción de que el significado o la aplicabilidad dependen de fronteras determinadas podría infundirnos el deseo de desplegar aquí esa fraseología.[21]

Debo subrayar que no estoy sugiriendo que no haya nunca buenas razones para dibujar fronteras o para adoptar reglas de correspondencia. Si a Pepe se le presentan series de aves que llenan los huecos entre los cisnes y los gansos, se verá forzado a resolver el dilema resultante que divida, por definición, el continuo cisnes-gansos. O, si hubiese razones independientes para suponer que el color es un criterio estable para la identificación de las aves acuáticas, Pepe se hubiese comprometido, inteligentemente, con la generalización de "Todos los cisnes son blancos".[22] Con esa estrategia, se podría ahorrar valioso tiempo de procesamiento de datos. En todo caso, la generalización daría un punto de entrada para las operaciones lógicas. Hay ocasiones adecuadas para cambiar a la estrategia, bien conocida, que se cifra en fronteras y reglas. Pero no es la única estrategia que existe para el

[21] De la misma manera, debieran evitarse aquí frases como "vaguedad de significado" o "conceptos de textura abierta". Ambas indican algo que falta y que luego podría aportarse. Tal sentido, sin embargo, es creado tan sólo por una norma que nos exige poseer condiciones necesarias y suficientes para la aplicabilidad de una palabra o una frase en un mundo de todos los datos posibles. En un mundo en que nunca aparecieran algunos datos, sería superfluo tal criterio.

[22] Nótese que el compromiso de Pepe para con la frase "Todos los cisnes son blancos" puede ser un compromiso hacia una ley relativa a los cisnes o hacia una definición (parcial) de tales aves. Esto es, puede recibir la generalización como analítica o como sintética. Como se sugirió en la nota 14, la diferencia puede tener grandes consecuencias, particularmente si Pepe se encuentra con un ave acuática, que en los demás respectos, parezca ser un cisne. Las leyes extraídas directamente de la observación se pueden ir corrigiendo poco a poco; no así las definiciones, por lo general.

procesamiento de estímulos o de datos. Existe una opción, la cual se basaba en lo que he venido llamando percepción aprendida de similitud. La observación, sea del aprendizaje del lenguaje, la educación científica o la práctica científica, sugiere que en realidad se emplea ampliamente. Pasándola por alto en la discusión epistemológica, podemos violentar nuestra comprensión de la naturaleza del conocimiento.

Volvamos, por último, al término "paradigma". Lo introduje en *La estructura de las revoluciones científicas* porque yo, el autor-historiador del libro, al examinar la pertenencia a una comunidad científica, no podía recuperar reglas compartidas suficientes para explicar la conducta de investigación del grupo, tan carente de problemas. Concluí, seguidamente, que los ejemplos compartidos de práctica fructífera le darían al grupo lo mismo que las reglas. Esos ejemplos fueron sus paradigmas, y como tales, indispensables para su trabajo constante de investigación. Por desgracia, habiendo llegado tan lejos, dejé que se expandiesen las aplicaciones del término, abarcando todos los compromisos de grupo compartidos, todos los componentes de lo que ahora deseo llamar la matriz disciplinaria. Inevitablemente, el resultado fue la confusión, y oscureció las razones originales para introducir un término especial. Pero esas razones se siguen manteniendo. Los ejemplos compartidos deben desempeñar las funciones cognoscitivas que se atribuyen comúnmente a las reglas compartidas. Cuando así ocurre, el conocimiento se desarrolla de modo diferente de como lo hace cuando está gobernado por reglas. Por encima de todo, este artículo ha sido un esfuerzo por aislar, esclarecer y llevar a buen término esos puntos esenciales. Si pueden verse, seremos capaces de absolver el término "paradigma", aunque no al concepto que produjo su introducción.

XIII. OBJETIVIDAD, JUICIOS DE VALOR Y ELECCIÓN DE TEORÍA

Conferencia Machette, inédita, dada en la Furman University, 30 de noviembre de 1973.

EN EL PENÚLTIMO capítulo de un controvertido libro, publicado hace quince años, consideré las maneras como los científicos se ven obligados a abandonar una teoría o un paradigma tradicionales en favor de otros. Tales problemas de decisión, escribí, "no pueden resolverse mediante pruebas". Analizar su mecanismo es, pues, hablar "de técnicas de persuasión, o de argumentos y de contrargumentos, en una situación tal que no puede haber prueba". En esas circunstancias, continué, "la resistencia de por vida [a una teoría nueva] . . . no es una violación de las normas científicas. . . Aunque el historiador pueda siempre encontrar hombres —Priestley, por ejemplo— que no fueron razonables al resistir tanto tiempo como lo hicieron, no encontrará nunca un punto en donde la resistencia se haya vuelto ilógica o acientífica."[1] Con afirmaciones así, tiene que surgir obviamente la cuestión de por qué, sin criterios obligatorios para la elección científica, tanto el número de problemas científicos resueltos como la precisión de las soluciones dadas a problemas concretos aumenta tan marcadamente con el paso del tiempo. Enfrentado a ese problema, bosquejé en mi capítulo final varias características que los científicos comparten en virtud de la formación que les faculta para pertenecer a una u otra comunidad de especialistas. Sin criterios que dicten la elección individual, argumenté, lo que tiene que hacerse es confiar en el juicio colectivo de los científicos formados de esa manera. "¿Qué mejor criterio podría haber", pregunté retóricamente, "que la decisión del grupo científico?"[2]

Varios filósofos recibieron los comentarios como éstos en forma que aún sigue sorprendiéndome. Con mis ideas, dijeron, la elección de

[1] *The Structure of Scientific Revolutions*, 2ª ed. (Chicago, 1970), pp. 148, 151-152, 159. Todos los pasajes de los cuales se tomaron estos fragmentos aparecieron en la misma forma en la primera edición, publicada en 1962.

[2] *Ibid.*, p. 170.

teoría se convierte en "un asunto de psicología de masas".[3] Kuhn cree, aseguraron, que "la decisión que toma un grupo científico de adoptar un paradigma nuevo no puede basarse en buenas razones de ninguna clase, ni factuales ni de otro tipo".[4] Los debates en torno de tales elecciones, me atribuyeron mis críticos, deben ser por "mera persuasión, sin sustancia deliberativa".[5] Afirmaciones así manifiestan un mal entendido total, cosa que he dicho en artículos dirigidos a otros fines. Pero éstas, mis protestas ocasionales, han tenido efecto insignificante y los mal entendidos se suceden. Concluyo que, para mí, es cosa del pasado describir, más ampliamente y con mayor precisión, lo que tenía en mente cuando hice afirmaciones por el estilo de las que he venido comentando. Si me he mostrado renuente a hacerlo en el pasado, esto se debe principalmente a que he preferido dedicar mi atención a campos en que mis ideas divergen más agudamente de las sustentadas de ordinario, que con respecto a la elección de teoría.

Comenzaré por preguntar ¿cuáles son las características de una buena teoría científica? Entre muchas de las respuestas usuales, seleccioné cinco, no porque sean exhaustivas sino porque cada una de ellas es importante a la vez que forman un conjunto variado para indicar lo que está en juego. En primer término, una teoría debe ser precisa: esto es, dentro de su dominio, las consecuencias deducibles de ellas deben estar en acuerdo demostrado con los resultados de los experimentos y las observaciones existentes. En segundo lugar, una teoría debe ser coherente, no sólo de manera interna o consigo misma, sino también con otras teorías aceptadas y aplicables a aspectos relacionables de la naturaleza. Tercero, debe ser amplia: en particular las consecuencias de una teoría deben extenderse más allá de las observaciones, leyes o subteorías particulares para las que se destinó en un principio. Cuarto, e íntimamente relacionado con lo anterior, debe ser simple, ordenar fenómenos que, sin ella, y tomados uno por uno, estarían aislados y, en conjunto, serían confusos. Quinto —aspecto algo menos frecuente,

[3] Imre Lakatos, "Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes", en I. Lakatos y A. Musgrave, compiladores, *Criticism and the Growth of the Knowledge* (Cambridge, 1970), pp. 91-195. La frase citada, que aparece en la p. 178, está *subrayada* en el original.

[4] Dudley Shapere, "Meaning and Scientific Change", en R. G. Colodny, compilador, *Mind and Cosmos: Essays in Contemporary Science and Philosophy*, University of Pittsburgh Series in the Philosophy of Science, vol. 3 (Pittsburgh, 1966), pp. 41-85. La cita se encuentra en la p. 67.

[5] Israel Scheffler, *Science and Subjectivity* (Indianápolis, 1967), p. 81.

pero de importancia especial para las decisiones científicas reales—, una teoría debe ser fecunda, esto es, debe dar lugar a nuevos resultados de investigación: debe revelar fenómenos nuevos o relaciones no observadas antes entre las cosas que ya se saben.[6] Estas cinco características —precisión, coherencia, amplitud, simplicidad y fecundidad— son criterios estándar para evaluar la suficiencia de una teoría. Si no lo fuesen, les habría concedido más espacio en mi libro, pero estoy de acuerdo con la idea tradicional de que desempeñan un papel vital cuando los científicos deben elegir entre una teoría establecida y otra que apenas comienza a conocerse. Junto con otras características de la misma naturaleza, constituyen *la* base compartida para la elección de teoría.

Hay, sin embargo, dos clases de dificultades que se encuentran regularmente quienes deben aplicar otros criterios para elegir, digamos, entre la teoría astronómica de Tolomeo y la de Copérnico, entre las teorías de la combustión del oxígeno y del flogisto, o entre la mecánica newtoniana y la cuántica. Individualmente, los criterios son imprecisos: los individuos pueden diferir legítimamente en sus aplicaciones a casos concretos. Además, al ser aplicados conjuntamente, resulta que muchas veces tales criterios riñen unos con otros; la precisión, por ejemplo, puede aconsejar la elección de una teoría y la amplitud la elección de la teoría rival. Como estas dificultades, especialmente la primera, son relativamente familiares, dedicaré poco espacio a analizarlas. Aunque mi argumentación exige que las ilustre brevemente, mis ideas comenzarán a apartarse de las prevalecientes sólo después de que lo haya hecho.

Comenzaré con la precisión, que, para lo que aquí me propongo, supondré incluye no sólo la concordancia cuantitativa sino también la cualitativa. En última instancia, demuestra ser, prácticamente, el criterio decisivo, en parte porque es menos equívoco que los otros, pero especialmente por sus virtudes predictivas y explicatorias, las cuales dependen de él, y son virtudes a las cuales los científicos no están nada dispuestos a renunciar. Por desgracia, sin embargo, las teorías no pueden distinguirse siempre en razón de la precisión. El sistema de Copérnico, por ejemplo, no era más preciso que el de Tolomeo, hasta que fue revisado a fondo por Kepler, más de sesenta años después de la

[6] El segundo criterio, fructífero, merece más importancia de la que se le ha concedido. El científico que elige entre dos teorías sabe, de ordinario, que su decisión influirá más tarde en el desarrollo de su carrera. Desde luego, lo atraerá aquella teoría que prometa el éxito concreto por el que suelen ser recompensados los científicos.

muerte de Copérnico. Si Kepler o cualquier otro no hubiesen encontrado razones para decidirse por la astronomía heliocéntrica, esos incrementos de precisión nunca se hubieran realizado, y quizá se hubiese olvidado el trabajo de Copérnico. Lo más común es que la precisión sí permita hacer distinciones, pero no de la índole que lleva por lo regular a una elección inequívoca. De la teoría del oxígeno, por ejemplo, se reconoció universalmente que explicaba las relaciones de peso observadas en las reacciones químicas, algo que la teoría del flogisto apenas si había tratado de hacer. Pero la teoría del flogisto, a diferencia de su rival, podía explicar por qué los metales eran mucho más semejantes entre sí, que los minerales de los cuales provenían. Una teoría así se compaginaba mejor con la experiencia en un área que en otra. Al elegir entre ellas con base en la precisión, el científico debe tener la necesidad de decidir el área en la cual la precisión es más importante. Sobre tal asunto, los químicos podían diferir y así lo hicieron sin violar ninguno de los criterios descritos, como tampoco otros que se van a sugerir.

Por importante que sea, pues, la precisión sola es rara vez o nunca un criterio suficiente para la elección de teoría. Deben aplicarse también otros criterios, pero éstos no eliminarán los problemas. Para ilustrar el punto, seleccionaré dos, la coherencia y la simplicidad, y examinaré cómo funcionaron en la elección entre los sistemas heliocéntrico y geocéntrico. Como teorías astronómicas, tanto la de Tolomeo como la de Copérnico poseían coherencia interna, pero su relación con teorías afines de otros campos era muy diferente. La Tierra, en posición central y estacionaria, era componente esencial de la teoría física recibida, un sólido cuerpo doctrinario que explicaba, entre otras cosas, cómo caen las piedras, cómo funcionan las bombas de agua y por qué las nubes se mueven lentamente. La astronomía heliocéntrica, que requiere del movimiento de la Tierra, no era congruente con la explicación científica que se daba entonces a éstos y otros fenómenos terrestres. El criterio de coherencia, en sí, habla inequívocamente, pues, a favor de la tradición geocéntrica.

La simplicidad, sin embargo, favoreció a Copérnico, pero sólo evaluada de una manera muy especial. Si, por una parte, se comparaban los dos sistemas en función del trabajo de cálculo real necesario para predecir la posición de un planeta en un momento dado, entonces ambos resultaban ser equivalentes en lo sustancial. Tales cálculos eran los que hacían los astrónomos, y el sistema de Copérnico no les ofrecía técnicas para ahorrar trabajo; en ese sentido, no era más simple que el de Tolomeo. Si, por otra parte, se trataba de determinar

la cantidad de aparato matemático necesario para explicar, no los movimientos cuantitativos y detallados de los planetas, sino tan sólo sus características generales, como la elongación limitada, el movimiento retrógrado, etc., entonces, como lo sabe todo escolar, en el sistema de Copérnico se necesitaba sólo un círculo por planeta, mientras que en el de Tolomeo se necesitaban dos. En tal sentido, la teoría de Copérnico era la más simple, hecho de vital importancia para las elecciones realizadas por Kepler y Galileo y, por tanto, esencial para el triunfo final del sistema copernicano. Pero ese sentido de la simplicidad no era el único que existía, ni siquiera el más natural para los astrónomos profesionales, hombres cuya tarea era el cálculo real de la posición de los planetas.

Como dispongo de poco espacio y he dado muchos ejemplos aquí y allá, me limitaré a afirmar que estas dificultades que surgen al aplicar los criterios estándar de elección son características, y que la fuerza con que se presentan en situaciones del siglo XX no es menor que en las situaciones antiguas que acabo de describir. Cuando los científicos deben elegir entre teorías rivales, dos hombres comprometidos por entero con la misma lista de criterios de elección pueden llegar a pesar de ello a conclusiones diferentes. Quizá interpreten de modos distintos la simplicidad o tengan convicciones distintas sobre la amplitud de los campos dentro de los cuales debe ser satisfecho el criterio de coherencia. O quizá estén de acuerdo sobre estos asuntos pero difieran en cuanto a los pesos relativos que deben asignárseles a éstos o a otros criterios, cuando varios de los mismos tratan de seguirse al mismo tiempo. Con respecto a las divergencias de esta índole, no es útil ningún conjunto de criterios de elección. Puede explicarse, como suele hacerlo el historiador, por qué determinados hombres hicieron determinadas elecciones en determinados momentos. Pero, para tal fin, debe trascenderse la lista de criterios compartidos y pasar a las características de los individuos que tomaron las decisiones. Esto es, deben tratarse características que varían de un científico a otro sin que, con ello, se ponga en peligro su apego a los cánones que hacen que la ciencia sea científica. Aunque si existen tales cánones y deben ser descubribles (indudablemente los criterios de elección con los que comencé figuran entre ellos), no bastan, en sí, para determinar las decisiones del científico como individuo. Para ese fin, los cánones compartidos deben estudiarse de maneras que difieren de un individuo a otro.

Algunas de las diferencias que tengo en mente provienen de las experiencias del científico como individuo. ¿En qué parte del campo

se hallaba trabajando al enfrentarse a la necesidad de elegir? ¿Cuánto había trabajado allí; qué tanto éxito había tenido; y qué cantidad de su trabajo depende de los conceptos y las técnicas impugnados por la nueva teoría? Otros de los factores pertinentes a la elección se hallan fuera de las ciencias. La elección que Kepler hizo del copernicanismo obedeció parcialmente a su inmersión en los movimientos neoplatónico y hermético de su época; el romanticismo alemán predispuso a quienes afectó hacia el reconocimiento y hacia la aceptación de la conservación de la energía; el pensamiento social de la Inglaterra del siglo XIX ejerció una influencia similar en la disponibilidad y aceptabilidad del concepto darwiniano de lucha por la existencia. Otras diferencias, también importantes, son funciones de la personalidad. Algunos científicos valoran en más que otros la originalidad y, por lo tanto, están más dispuestos a correr riesgos; otros prefieren teorías amplias y unificadas, a soluciones de problemas, precisos y detallados, aparentemente de menores alcances. Los factores diferenciadores como éstos son descritos por mis críticos como subjetivos, y son contrastados con los criterios compartidos u objetivos, de los cuales partí. Aunque más adelante cuestionaré tal uso de los términos, permítaseme aceptarlos por el momento. El punto que estoy tratando es el de que toda elección individual entre teorías rivales depende de una mezcla de factores objetivos y subjetivos, o de criterios compartidos y criterios individuales. Como esos últimos no han figurado en la filosofía de la ciencia, mi insistencia en ellos ha hecho que mis críticos no vean mi creencia en los factores objetivos.

Lo que he dicho aquí es ante todo una descripción de lo que ocurre en las ciencias en épocas de elección de teoría. Como descripción, además, no ha sido impugnada por mis críticos, quienes en lugar de ello rechazan mi aseveración de que estos hechos de la vida científica tienen valor filosófico. Aceptando que existe el problema, comenzaré por aislar algunas diferencias de opinión. Comenzaré preguntando cómo es que los filósofos de la ciencia han descuidado durante tanto tiempo los elementos subjetivos que intervienen regularmente en las elecciones reales de teoría, las que hacen los científicos en forma individual. ¿Por qué estos elementos les parecen tan sólo un índice de la debilidad humana y no de la naturaleza del conocimiento científico?

Desde luego, una manera de responder esa pregunta consiste en decir que pocos filósofos se han atrevido a proclamar que poseen una lista completa de criterios o bien una lista bien articulada. Por algún tiempo, entonces, siguen esperando razonablemente que con nuevas

investigaciones se eliminarán la imperfecciones residuales y se producirá un algoritmo para prescribir la elección racional y unánime. No existiendo aún tal realización, los científicos no tienen otra opción más que la de suplir subjetivamente lo que falta todavía en las mejores listas de criterios objetivos de que se dispone en la actualidad. Que algunos de ellos sigan haciéndolo así, incluso con una lista perfeccionada en mano, será entonces un índice tan sólo de la imperfección inevitable de la naturaleza humana.

Resulta que esa clase de respuesta puede ser correcta todavía, pero no creo que los filósofos lo esperen así. La búsqueda de procedimientos de decisión algorítmicos ha continuado durante algún tiempo y producido resultados tan eficaces como reveladores. Pero, en todos esos resultados, se presupone que los criterios de elección individuales pueden ser enunciados inequívocamente y también que, si resulta que más de uno es pertinente, puede recurrirse a una adecuada función de peso para aplicarlos. Por desgracia, cuando se trata de elegir entre teorías científicas, poco es el progreso que se ha hecho hacia el primero de estos deseos y ninguno hacia el segundo. Creo, pues, que la mayoría de los filósofos de la ciencia podría considerar la clase de algoritmo que ha venido buscando tradicionalmente como un ideal más bien inalcanzable. Concuerdo absolutamente, y, de aquí en adelante, lo daré por descontado.

Sin embargo, para que incluso un ideal siga siendo creíble, requiere cierta pertinencia demostrada respecto de las situaciones a las cuales presuntamente va a aplicarse. Al asegurar que en tal demostración no hace falta tomar en cuenta los factores subjetivos, mis críticos parecen apelar, implícita o explícitamente, a la bien conocida distinción que hay entre los contextos del descubrimiento y de la justificación.[7] Esto es, conceden que los factores subjetivos invocados por mí desempeñan un papel importante en el descubrimiento o en la invención de teorías nuevas, pero insisten también en que ese proceso, inevitablemente intuitivo, se halla fuera de las fronteras de la filosofía de la ciencia y no viene al caso en la cuestión de la objetividad científica. La objetividad entra en la ciencia, prosiguen, a través de los procesos de prueba, demostración, justificación y juicio de las teorías. En esos procesos no intervienen, o por lo menos no tienen que intervenir, los factores subjetivos. Pueden ser gobernados por un conjunto de criterios (objetivos) compartidos por la totalidad del grupo competente para juzgar.

[7] El ejemplo menos equívoco de esta posición probablemente sea el descrito en Scheffler, *Science and Subjectivity*, cap. 4.

Ya argumenté que esa posición no encaja en las observaciones de la vida científica y supondré que esto se me ha concedido. El problema está ahora en un punto diferente: el de si esta invocación de la distinción entre contextos de descubrimiento y de justificación da o no da siquiera una idealización plausible y útil. Pienso que no, y puedo defender mejor mi punto sugiriendo primero una probable fuente de su eficacia aparente. Sospecho que mis críticos se han confundido con la pedagogía de la ciencia o con lo que en otra parte llamé ciencia de libro de texto. Al enseñar ciencias, las teorías se presentan junto con aplicaciones ejemplares, y tales aplicaciones pueden verse como pruebas. Pero ésa no es su función pedagógica principal —los estudiantes de ciencias son desalentadoramente propensos a recibir sin cuestionar la palabra de sus profesores y de sus textos—. Indudablemente, *algunas* de ellas fueron parte de los testimonios en la época en que se tomaron las decisiones reales, pero representan exclusivamente una fracción de las consideraciones pertinentes al proceso de decisión. El contexto de la pedagogía difiere del contexto de la justificación casi tanto como del contexto del descubrimiento.

La documentación cabal de este punto exigiría una argumentación más extensa de lo que es propio aquí, pero vale la pena hacer notar dos aspectos de la manera como los filósofos suelen demostrar la pertinencia de los criterios de elección. Al igual que los libros de texto de ciencia, conforme a los cuales son modelados a veces, los libros y artículos sobre filosofía de la ciencia se refieren una y otra vez a los famosos experimentos cruciales o decisivos: el pédulo de Foucault, que demuestra el movimiento de la Tierra; la demostración de la atracción gravitacional hecha por Cavendish; o la medición de la velocidad relativa del sonido en el agua y en el aire, hecha por Fizeau. Estos experimentos son paradigmas de buenas razones para la elección científica; ilustran la más eficaz de todas las clases de argumentos que tiene a su alcance el científico cuando no sabe cuál de dos teorías elegir; son los vehículos para la transmisión de los criterios de elección. Pero poseen también otra característica común. En la época en que fueron realizados, ningún científico tenía la necesidad de ser convencido de la validez de la teoría cuyos resultados se acostumbra demostrar ahora. Tales decisiones se habían tomado desde tiempo atrás con base en testimonios significativamente más equívocos. Los experimentos cruciales y ejemplares, a los cuales los filósofos se refieren una y otra vez, han sido pertinentes, desde el punto de vista histórico, a la elección de teoría sólo cuando han producido resultados inesperados. Usarlos como ilustraciones va de acuerdo con la economía necesaria en la pedagogía de la ciencia, pero es

difícil que iluminen el carácter de las elecciones que los científicos se ven obligados a tomar.

Las ilustraciones filosóficas estándar de la elección científica tienen otra característica que es también causa de problemas. Los únicos argumentos que se analizan, como ya lo indiqué, son los favorables a la teoría que a final de cuentas triunfó. El oxígeno, leemos, podía explicar las relaciones de peso mientras que el flogisto no; pero no se dice nada de la eficacia de la teoría del flogisto ni tampoco de las limitaciones de la teoría del oxígeno. Las comparaciones de la teoría de Tolomeo con la de Copérnico siguen un patrón semejante. Quizá no debieran citarse estos ejemplos, ya que ponen en contraste una teoría desarrollada con otras apenas incipiente. Pero, a pesar de ello, los filósofos siguen haciéndolo así regularmente. Si el único resultado de ese quehacer fuera el de simplificar la situación de decisión, no habría nada que objetar. Ni siquiera los historiadores pretenden tratar con la complejidad factual y total de las situaciones que describen. Pero estas simplificaciones desvirtúan la situación, haciendo creer que la elección ocurre sin problemas. Esto es, eliminan un elemento esencial de las situaciones de decisión que los científicos deben resolver para que su campo avance. En esas situaciones hay siempre algunas buenas razones para cada posible elección. Las consideraciones pertinentes al contexto del descubrimiento son, pues, pertinentes también al contexto de la justificación; los científicos que comparten los intereses y las sensibilidades que descubre una teoría es probable que aparezcan, con desproporcionada frecuencia, entre los primeros partidarios de la teoría. Por eso ha sido tan difícil construir algoritmos para la elección de teorías, y por eso también es que parece valer la pena tanto el resolver esas dificultades. Las elecciones que presentan problemas son las únicas que necesitan entender los filósofos de la ciencia. Los procedimientos de decisión, de interés filosófico, son aquellos que deben funcionar cuando, de no haber existido, podría seguirse cuestionando la decisión.

Aunque someramente, todo esto ya lo dije antes. Hace poco, sin embargo, he reconocido otra fuente, más sutil, de la aparente plausibilidad de la posición de mis críticos. Para exponerla, describiré brevemente un diálogo hipotético con uno de ellos. Ambos concordamos en que todo científico elige entre teorías rivales empleando algún algoritmo bayesiano que le permita calcular un valor para $p(T,E)$, es decir para la probabilidad de una teoría T conforme a los testimonios E, disponibles tanto para él como para los demás miembros de su grupo

profesional en un momento dado. "Los testimonios" los interpretamos además muy ampliamente para incluir consideraciones tales como la simplicidad y la fecundidad. Pero mi crítico asegura que sólo hay un valor tal de *p*, que corresponde a la elección de objetivo, y cree que todos los miembros racionales del grupo deben llegar a él. Yo aseguro, por otra parte, y por las razones que ya di, que los factores a los que él llama objetivos no bastan para determinar algoritmo alguno. Para llevar adelante la discusión, concedo que cada individuo tiene un algoritmo y que todos sus algoritmos tienen mucho en común. Sin embargo, continúo sosteniendo que los algoritmos de los individuos son, a final de cuentas, diferentes, en virtud de las consideraciones subjetivas con que cada uno de ellos debe completar los criterios objetivos antes de emprender ningún cálculo. Si mi hipotético crítico es liberal, concederá que estas diferencias subjetivas sí desempeñan una función en la determinación del algoritmo hipotético en el cual confía cada individuo durante las primeras etapas de la competencia entre teorías rivales. Pero es probable también que él asegure que, a medida que aumentan los testimonios con el paso del tiempo, los algoritmos de los diferentes individuos convergen hacia el algoritmo de la elección objetiva con el que comenzó su exposición. Para él, la unanimidad creciente de las elecciones individuales es testimonio de una objetividad creciente y, así, de la eliminación de los elementos subjetivos del proceso de decisión.

Tal es el diálogo, ideado, por supuesto, para poner de manifiesto la falacia oculta detrás de una posición aparentemente plausible. Lo que converge a medida que cambian los testimonios con el tiempo tiene que ser solamente los valores de *p*, que los individuos calculan a partir de sus algoritmos. Concebiblemente, esos algoritmos se van pareciendo cada vez más unos a otros conforme pasa el tiempo, pero la unanimidad final con respecto a la elección de teoría no es testimonio de que así ocurra. Si hacen falta factores subjetivos para explicar las decisiones que dividen inicialmente a la profesión, entonces deben seguir presentes después, cuando hay acuerdo dentro del grupo profesional. Aunque no argumentaré aquí el punto, la consideración de las ocasiones en que una comunidad científica se divide sugiere que efectivamente están presentes todo el tiempo.

Hasta aquí he dirigido mi argumentación hacia dos puntos. Comencé aportando testimonios para demostrar que las elecciones que los científicos hacen entre teorías rivales dependen no únicamente de los

criterios compartidos —que mis críticos llaman objetivos—, sino también de factores idiosincrásicos dependientes de la biografía y la personalidad del sujeto. Según el vocabulario de mis críticos, estos últimos factores son subjetivos, y la segunda parte de mi argumento trata de obstaculizar algunas maneras probables de negar su valor filosófico. Permítaseme cambiar ahora a un enfoque más positivo, volviendo brevemente a la lista de los criterios compartidos —precisión, simplicidad, etc.— con la que comencé. No trato de indicar que la considerable eficacia de tales criterios no dependa de que están lo suficientemente articulados como para prescribir la elección de cada individuo que los sostiene. En realidad, si estuviesen articulados a tal punto, dejaría de funcionar un mecanismo conductual básico para el avance científico. Lo que la tradición ve como una imperfección eliminable en sus reglas de elección, yo lo tomo en parte como respuesta a la naturaleza esencial de la ciencia.

Como tantas otras veces, comienzo con lo obvio. Los criterios que influyen en las elecciones, sin especificar cuáles deben ser éstas, son familiares en muchos aspectos de la vida humana. Pero ordinariamente se les llama no criterios ni reglas sino máximas, normas o valores. Veamos primero las máximas. El individuo que las invoca cuando es urgente tomar una decisión suele encontrarlas vagas hasta la frustración y, a menudo, en conflicto mutuo. Compárese "El que duda está perdido" con "Mira antes de saltar", o bien "Muchas manos aligeran el trabajo" con "Demasiados cocineros echan a perder la sopa". Una por una, las máximas prescriben elecciones diferentes; colectivamente ninguna. Nadie dice, sin embargo, que enseñarles a los niños frases hechas tan contradictorias como éstas sea improcedente respecto de su educación. Las máximas que se oponen modifican la naturaleza de la decisión que se va a tomar, destacan los problemas esenciales que presenta la toma de decisión, y señalan los aspectos restantes de ésta, acerca de los cuales el individuo será el único responsable. Una vez invocadas, las máximas como éstas alteran la naturaleza del proceso de decidir y, por tanto, cambian su resultado.

Los valores y las normas dan ejemplos más claros de guía eficaz ante conflictos y errores. Mejorar la calidad de la vida es un valor, y en un tiempo se tomó como norma correlativa el ideal de un coche en cada garaje. Pero la cualidad de la vida tiene otros aspectos, y la antigua norma se ha vuelto problemática. La libertad de palabra es un valor, pero también lo es la preservación de la vida y la propiedad. Al aplicarlos, ambos entran a veces en conflicto, de manera que se ha

necesitado el examen de conciencia judicial, que todavía continúa, para prohibir conductas tales como la incitación al motín o gritar "¡Fuego!" en un teatro abarrotado. Dificultades como éstas son fuente de frustración, pero rara vez dan lugar a acusaciones de que los valores no desempeñan función alguna o a llamamientos a abandonarlos. A la mayoría de nosotros no se nos ocurre dar tal respuesta por una conciencia clara de que hay sociedades con otros valores y que estas diferencias de valores producen otras maneras de vida, otras decisiones acerca de lo que se puede hacer y lo que no se puede.

Lo que estoy sugiriendo es que los criterios de elección con los cuales comencé funcionan no como reglas, que determinen decisiones a tomar, sino como valores, que influyen en éstas. En situaciones particulares, dos hombres comprometidos profundamente con los mismos valores tomarán, a pesar de ello, decisiones diferentes. Pero tal diferencia de resultado no debiera sugerir que los valores compartidos por los científicos tienen menos importancia crítica que sus decisiones o que el desarrollo de la empresa en la cual participan. Valores como la precisión, la coherencia y la amplitud pueden resultar ambiguos al aplicarlos, tanto individual como colectivamente; esto es, pueden no ser la base suficiente para un algoritmo de elección *compartido*. Pero sí especifican mucho: lo que cada científico debe tomar en cuenta para llegar a una decisión, lo que puede considerar pertinente o no, y lo que puede pedírsele legítimamente que comunique como base de la elección tomada. Cámbiese la lista, por ejemplo agregando como criterio la utilidad social, y habrá algunas elecciones que serán distintas, más parecidas a las que se esperan de un ingeniero. Quítese de la lista la precisión y el ajuste a la naturaleza, y la actividad que resulte tal vez no se asemeje a la ciencia, pero sí a la filosofía. Las diferentes disciplinas creativas se caracterizan, entre otras cosas, por conjuntos diferentes de valores compartidos. Si la filosofía y la ingeniería están demasiado próximas a las ciencias, piénsese en la literatura o en las artes plásticas. Que Milton no haya ubicado su *Paraíso perdido* en un universo copernicano no indica que estuviese de acuerdo con Tolomeo, sino que tenía que hacer otras cosas que la ciencia no hace.

Reconocer que los criterios de elección pueden funcionar como valores por ser incompletos como reglas tiene, creo, muchas ventajas sorprendentes. Primera, como ya argumenté largamente, se pueden explicar en detalle los aspectos de la conducta científica que la tradición ha venido viendo como anómalos o hasta irracionales. Lo más importante es que permite que los criterios estándar funcionen cabalmente

en las primeras etapas de la elección de teoría, periodo en que son más necesarios, pero durante el cual, según la tradición, funcionan mal o de plano no funcionan. Copérnico estuvo respondiendo a ellos durante los años necesarios para convertir la astronomía heliocéntrica, de un esquema conceptual global, en una maquinaria matemática para predecir la posición de los planetas. Tales predicciones fueron lo que los astrónomos valoraron; sin ellas, hubiera sido muy difícil que se le hubiese dado crédito a Copérnico, algo que había ocurrido ya con la idea de una Tierra que se mueve. Que su propia versión haya convencido a tan pocos es menos importante que su conocimiento de la base sobre la cual tendrían que haberse fundado los juicios necesarios para que sobreviviera el heliocentrismo. Si bien debe invocarse la idiosincrasia para explicar por qué Kepler y Galileo fueron los primeros en convertirse al sistema copernicano, los huecos que llenaron con sus trabajos respectivos para perfeccionarlo fueron especificados solamente por valores compartidos.

Este punto tiene un corolario que acaso sea más importante todavía. La mayoría de las teorías recién salidas no sobreviven. Por lo común, las dificultades que ocasionan son explicadas por medios más bien tradicionales. Aun cuando no ocurra esto, hace falta mucho trabajo tanto teórico como experimental antes de que la teoría nueva se muestre lo suficientemente precisa y amplia como para generar una convicción difundida. En fin, antes de que el grupo la acepte, una teoría nueva tiene que ser probada por las investigaciones realizadas por muchos hombres, algunos de los cuales trabajan en ella y otros en la teoría rival. Tal modo de desarrollo *requiere*, sin embargo, un proceso de toma de decisión que les permita discrepar a los hombres racionales, y tal discrepancia estaría obstaculizada por el algoritmo compartido que han venido buscando los filósofos. Si existiese, todos los científicos que a él se sometiesen tomarían la misma decisión al mismo tiempo. Con normas de aceptación de nivel bajo, pasarían de un atractivo punto de vista global a otro, sin darle nunca a la teoría tradicional la oportunidad de brindar atracciones equivalentes. Con normas de nivel elevado, nadie que satisficiese el criterio de racionalidad se inclinaría a ensayar la teoría nueva, a articularla de manera que mostrase su fecundidad, o su amplitud y precisión. Dudo que la ciencia sobreviviese a ese cambio. Lo que desde un punto de vista parece ser la laxitud y la imperfección de los criterios de elección concebidos como reglas puede parecer, cuando los mismos criterios se ven como valores, un medio indispensable de propagar el riesgo con la introducción del apoyo que implica siempre la novedad.

Incluso quienes me han seguido hasta aquí querrán saber cómo es que una empresa basada en valores de la clase que acabo de describir puede desarrollarse como lo hace la ciencia, que produce repetidamente nuevas y poderosas técnicas para predecir y controlar. Por desgracia, no puedo responder totalmente a esa pregunta, pero esto es tan sólo otra manera de decir que no pretendo haber resuelto el problema de la inducción. Si la ciencia progresa en virtud de algún algoritmo de elección, compartido y obligatorio, sería igualmente una pérdida explicar su éxito. Percibo agudamente el vacío que hay, pero su presencia no hace diferente mi posición respecto de la tradicional.

Después de todo, no es casual que mi lista de los valores que guían la elección de teoría sea casi idéntica a la lista tradicional de reglas que prescriben la elección. Dada una situación concreta a la cual puedan aplicarse las reglas del filósofo, mis valores funcionarán como esas reglas y producirán la misma elección. Toda justificación de la inducción, toda explicación de por qué las reglas funcionan, se aplicará igualmente a mis valores. Considérese ahora una situación en que resulta imposible la elección por reglas compartidas, no porque éstas estén equivocadas sino porque son, como reglas, incompletas intrínsecamente. Cuando son así, los individuos deben seguir eligiendo y guiándose por las reglas —no por los valores—. Para tal fin, sin embargo, cada individuo debe incorporar a sí mismo las reglas, y cada uno de ellos lo hará de modo algo diferente, aunque la decisión prescrita por las reglas, completadas de variadas maneras, resulte unánime. Si supongo ahora, además, que el grupo es lo bastante grande como para que las diferencias individuales se distribuyan conforme a una curva normal, entonces ninguno de los argumentos que justifique la elección por reglas, del filósofo, será adaptable directamente a mi elección por valores. Un grupo demasiado pequeño, o una distribución sesgada excesivamente por presiones históricas externas, impediría desde luego la transferencia del argumento.[8] Pero ésas son justamente las circunstancias en que es problemático el progreso científico. No debe esperarse, pues, la transferencia.

[8] Si el grupo es pequeño, más alta es la probabilidad de que las fluctuaciones aleatorias produzcan, sobre lo que sus miembros comparten, un conjunto atípico de valores y, por tanto, éstos efectúen elecciones difrerentes de las que se harían dentro de un grupo mayor y más representativo. El medio exterior —intelectual, ideológico o económico— debe afectar sistemáticamente el sistema de valores de grupos mucho

Me sentiré satisfecho si estas referencias a una distribución normal de las diferencias individuales y al problema de la inducción contribuyen a que mi posición aparezca muy próxima a los puntos de vista más bien tradicionales. Con respecto a la elección de teoría, nunca he pensado que mis desvíos hayan sido grandes, y por eso me alarman acusaciones como las de "psicología de las masas", citada al principio. Vale la pena notar, sin embargo, que las posiciones no son del todo idénticas, y para tal fin será útil una analogía. Muchas propiedades de los líquidos y los gases pueden explicarse por la teoría cinética suponiendo que todas las moléculas se desplazan a la misma velocidad. Entre tales propiedades figuran las regularidades conocidas como leyes de Boyle y Charles. Otras características, especialmente la evaporación, no pueden explicarse de manera tan sencilla. Para tratarlas, debe uno suponer que difieren las velocidades moleculares, que están distribuidas aleatoriamente y gobernadas por las leyes del azar. Lo que he venido sugiriendo aquí es que también la elección puede explicarse sólo en parte por una teoría que atribuye las mismas propiedades a todos los científicos que deben hacer la elección. Aspectos esenciales del proceso conocido generalmente como verificación se entienden únicamente recurriendo a los caracteres con respecto a los cuales pueden diferir los hombres sin dejar de seguir siendo científicos. La tradición presupone que tales caracteres son vitales para el proceso de descubrimiento, lo que de inmediato y por esa razón elimina de las fronteras filosóficas. Que pueden tener funciones importantes también en el problema filosófico primordial de justificar la elección de teoría es lo que los filósofos de la ciencia han negado categóricamente hasta la fecha.

Lo que resta por decirse puede agruparse en un epílogo algo misceláneo. En pos de la claridad y para no tener que escribir todo un libro, he

mayores, y entre las consecuencias pueden contarse las dificultades para introducir la actividad científica en sociedades con valores hostiles o quizá hasta el fin de esa actividad en sociedades dentro de las cuales una vez floreció. A este respecto, es preciso ser muy cuidadoso. Los cambios que ocurren en el medio en donde se practica la ciencia pueden tener también efectos beneficiosos sobre la investigación. Por ejemplo, los historiadores recurren a veces a las diferencias entre medios nacionales para explicar por qué se iniciaron determinadas innovaciones y por qué se trató de realizarlas con tanto empeño en determinados países, por ejemplo, el darwinismo en Inglaterra, la conservación de la energía en Alemania. En el momento presente, no sabemos nada sustancial sobre las condiciones esenciales mínimas del medio social, dentro del cual pueda florecer una actividad como la ciencia.

venido empleando en este artículo algunos conceptos y expresiones tradicionales sobre los que, en otra parte, he manifestado serias dudas. Para quienes ya conocen el trabajo en donde he hecho tal cosa, concluiré indicando tres aspectos de lo que he dicho que representaría mejor mis puntos de vista si se expresara en otros términos, y a la vez indicaré las direcciones principales que puede seguir tal expresión distinta. Tales asuntos son: la invariancia del valor, la subjetividad y la comunicación parcial. Si son nuevos mis puntos de vista sobre el desarrollo científico —de lo cual es legítimo tener dudas—, en asuntos como éstos, mejor que en la elección de teoría, es en donde deben buscarse mis principales desviaciones de la tradición.

En todo este artículo he venido suponiendo implícitamente que, independientemente de su origen, los criterios o los valores empleados en la elección de teoría son fijos de una vez y para siempre, y que no resultan afectados al intervenir en las transiciones de una teoría a otra. En términos generales, pero sólo muy generales, supongo que tal es el caso. Si se conserva breve la lista de valores pertinentes —mencioné cinco, no todos ellos independientes— y si se mantiene vaga su especificación, entonces valores como la precisión, la amplitud y la fecundidad son atributos permanentes de la ciencia. Pero basta con saber un poco de historia para sugerir que tanto la aplicación de estos valores como, más obviamente, los pesos relativos que se les atribuyen han variado marcadamente con el tiempo y también con el campo de aplicación. Además, muchas de estas variaciones de los valores se han asociado con cambios particulares de la teoría científica. Aunque la experiencia de los científicos no justifica filosóficamente los valores que sustentan —tal justificación resolvería el problema de la inducción—, tales valores se han aprendido en parte de la experiencia y han evolucionado con la misma.

Necesita estudiarse más todo este asunto —por lo regular los historiadores han dado por descontados los valores científicos aunque no los métodos científicos—, pero con unos cuantos comentarios se ilustrará la clase de variaciones que tengo en mente. La precisión, como valor, ha venido denotando cada vez más, con el tiempo, concordancia cuantitativa o numérica, a veces a expensas de la concordancia cualitativa. Antes de los tiempos modernos, sin embargo, la precisión en ese sentido era un criterio sólo para la astronomía, la ciencia de la región celeste. No se esperaba encontrarla en ninguna otra parte. En el siglo XVII, sin embargo, el criterio de concordancia numérica se extendió a la mecánica; a fines del siglo XVIII y principios del XIX pasó a la

química y a otros campos como los de la electricidad y el calor, y en este siglo a muchas partes de la biología. O piénsese en la utilidad, valor que no figuró en mi primera lista. Ha venido figurando significativamente en el desarrollo científico, pero con mayor fuerza y de manera más estable para los químicos que para, digamos, los matemáticos y los físicos. O considérese la amplitud. Sigue siendo un valor científico importante, pero los grandes avances científicos se han logrado una y otra vez a expensas del mismo, y correspondientemente ha disminuido el peso atribuido a él en épocas de elección.

Lo que en particular causa problemas en cambios como éstos es, desde luego, que se presentan originariamente como secuela de un cambio de teoría. Una de las objeciones erigidas en contra de la química nueva de Lavoisier consistió en los obstáculos que imponía para que se alcanzara uno de los objetivos tradicionales de la química: la explicación de las cualidades, como el color y la textura, así como los cambios de éstas. Con la aceptación de la teoría de Lavoisier, tales explicaciones dejaron de ser por algún tiempo un valor para los químicos; la capacidad para explicar las variaciones de cualidad ya no fue un criterio pertinente para evaluar una teoría qüímica. Claro está que si tales cambios de valores hubiesen ocurrido tan rápido, o hubiesen sido tan completos, como los cambios de la teoría con la cual se relacionaban, entonces la elección de teoría hubiera sido el cambio de valores, y ni ésta ni aquélla hubiesen justificado a la otra. Pero históricamente hablando, los cambios de valores son por lo común una concomitancia prolongada y en aquéllos es por lo regular más pequeña que la de esta última. Para las funciones que le he adscrito aquí a los valores, tal estabilidad relativa constituye una base suficiente. La existencia de un circuito de realimentación mediante el cual el cambio de teoría afecta a los valores que condujeron a ese cambio no hace que el proceso de decisión sea circular, en sentido nocivo.

En relación con otro aspecto en el cual, por mi manera de recurrir a la tradición, puede haber confusión, debo ser mucho más precavido. Exige las habilidades de un filósofo del lenguaje, común y corriente, las cuales no poseo. Sin embargo, no hace falta un oído muy agudo para el lenguaje a fin de darse cuenta de la forma insatisfactoria en que he manejado en este artículo los términos "objetividad" y, más especialmente, "subjetividad". Indicaré someramente los aspectos en los cuales creo que mi lenguaje ha errado el camino. "Subjetivo" es un término con varios usos establecidos: en uno de ellos se opone a "objetivo"; en otro a "relativo juicio". Cuando mis críticos describen

los caracteres idiosincrásicos a los cuales llamo subjetivos, recurren, erróneamente según yo, al segundo de estos sentidos. Cuando se quejan de que privo de objetividad a la ciencia, mezclan el segundo sentido con el primero.

Una aplicación normal del término "subjetivo" es la que se hace a asuntos de gusto, y mis críticos parecen suponer que tal cosa es la que yo hago con la elección de teoría. Pero están pasando por alto una distinción que es característico hacer desde los tiempos de Kant. Como informes sensoriales, que son también subjetivos en el sentido en que ahora estamos analizando, los asuntos de gusto son indiscutibles. Supóngase que, al salir del cine con un amigo, después de ver una película de vaqueros, exclamo: "¡Cómo me gustó ese churro!" Si a mi amigo no le gustó la película, me dirá que tengo mal gusto, asunto sobre el cual, en esas circunstancias, yo estaría de acuerdo. Pero, suponiendo que yo no haya mentido, él no puede estar en desacuerdo con mi informe de que me gustó la película, ni tratará de persuadirme de que lo que dije acerca de mi reacción es erróneo. Lo discutible de mi comentario no es la caracterización de mi estado interno, mi ejemplificación del gusto, sino en todo caso mi juicio de que la película era un churro. Si mi amigo no está de acuerdo sobre tal punto, podemos pasárnosla discutiendo toda la noche, cada uno comparando la película con otras conceptuadas como buenas, y cada uno revelando, explícita o implícitamente, algo sobre cómo se *juzga* el mérito fílmico, la estética de cada quien. Aunque tal vez uno de nosotros haya convencido al otro antes de retirarse, no hace falta tal cosa para demostrar que nuestra diferencia es de juicio, y no de gusto.

Creo que las evaluaciones o las elecciones de teoría tienen exactamente este carácter. Los científicos no se limitan a decir, me gusta o no me gusta tal o cual teoría. Después de 1926, Einstein dijo algo más que eso al oponerse a la teoría cuántica. Pero siempre puede pedírsele a los científicos que expliquen sus elecciones, que muestren las bases de sus juicios. Éstos son eminentemente discutibles, y quien rehúsa discutir los suyos propios no puede esperar que se le tome en serio. Aunque muy ocasionalmente hay líderes del gusto científico, su existencia tiende a confirmar la regla. Einstein fue uno de esos pocos, y su aislamiento creciente de la comunidad científica a finales de su vida muestra el papel tan limitado que el gusto solo puede desempeñar en la elección de teoría. Bohr, a diferencia de Einstein, sí discutió las bases de su juicio y logró salir airoso. Si mis críticos introducen el término

"subjetivo" en sentido opuesto a "relativo a juicios" —sugiriendo así que hago de la elección de teoría un asunto indiscutible, un asunto de gusto—, entonces es que han confundido seriamente mi posición.

Volvamos ahora al sentido en que "subjetividad" se opone a "objetividad", y nótese ante todo que plantea problemas muy distintos de los que estamos analizando. Independientemente de que mi gusto sea bueno o malo, mi informe de que me gustó la película es objetivo, a menos que yo haya mentido. A mi juicio, la película fue un churro; sin embargo, aquí no se aplica la distinción entre objetivo y subjetivo, por lo menos no obvia ni directamente. Cuando mis críticos dicen que privo de objetividad a la elección de teoría, es porque deben de estar recurriendo a algún sentido muy diferente de lo subjetivo, presumiblemente aquel en que la predisposición y los gustos personales sustituyen a los hechos. Pero ese sentido de lo subjetivo no encaja en el proceso que he venido describiendo. En donde deben introducirse factores dependientes de la biografía o la personalidad del individuo para que puedan aplicarse los valores, no se están haciendo a un lado las normas de factualidad ni de actualidad. Concebiblemente, mi discusión de la elección de teoría indica algunas de las limitaciones de la objetividad, pero sin aislar los elementos llamados con propiedad subjetivos. Tampoco me satisface la idea de que lo que he venido mostrando son limitaciones. La objetividad debiera analizarse en función de criterios como la precisión y la coherencia. Si estos criterios no sirven para guiarnos por completo como estamos acostumbrados a esperar, entonces lo que mi argumento demuestra puede ser el significado de la objetividad y no sus límites.

Para concluir, pasaré al tercer aspecto, o conjunto de aspectos, que ameritan expresarse de otra manera. He supuesto en todo momento que las discusiones en torno de la elección de teoría no presentan problemas. Que los hechos que se esgrimen en tales discusiones son independientes de la teoría y que el resultado de las discusiones se llama, propiamente, elección. En otra parte impugné estas tres suposiciones argumentando que la comunicación entre los partidarios de teorías diferentes es, inevitablemente, parcial; que lo que cada uno de ellos toma como los hechos depende en parte de la teoría que defiende y que la transferencia de la fidelidad del individuo, de una teoría a otra, sería mejor descrita como conversión y no como elección. No obstante que estas tesis son problemáticas y causa de controversia, no se menoscaba mi compromiso para con ellas. No las voy a defender ahora, pero por lo menos debo tratar de indicar cómo lo dicho aquí

puede ajustarse para que se conforme a estos aspectos, los más importantes, de mi punto de vista sobre el desarrollo científico.

Para tal fin, haré una analogía que ya desarrollé en otras partes. He dicho que los partidarios de teorías diferentes son como los que tienen lenguas maternas diferentes. La comunicación entre ellos se da mediante traducciones, y origina los consabidos problemas de traducción. Desde luego, esta analogía es incompleta, pues puede ser idéntico el vocabulario de las dos teorías, y la mayoría de las palabras funcionan en ambas de la misma manera. Pero algunas de las palabras de los vocabularios básicos, así como teóricos, de las dos teorías —palabras como "estrella" y "planeta", "mezcla" y "compuesto" o "fuerza" y "materia"— sí funcionan de maneras diferentes. Tales diferencias son inesperadas y serán descubiertas y localizadas sólo mediante la experiencia repetida de fracasos de comunicación. Sin llevar adelante el asunto, aseguro simplemente la existencia de límites importantes a lo que los partidarios de teorías diferentes pueden comunicarse unos a otros. Los mismos límites dificultan o, más probablemente, impiden que un individuo tenga en mente ambas teorías para compararlas entre sí, punto por punto, y de la misma manera compararlas con la naturaleza. Tal clase de comparación es, sin embargo, el proceso del cual depende lo adecuado de toda palabra por el estilo de "elección".

No obstante, y a pesar de lo incompleto de su comunicación, los partidarios de teorías diferentes pueden mostrarse unos a otros, no siempre con facilidad, los resultados técnicos concretos que alcanzan quienes practican cada una de esas teorías. Se requiere poca o ninguna traducción para aplicar lo menos algunos criterios de valor a esos resultados. (La precisión y la fecundidad son los aplicables de inmediato, seguidos quizá por la amplitud. La coherencia y la simplicidad son mucho más problemáticos.) Por incomprensible que sea la teoría nueva para los partidarios de la tradición, el mostrar resultados concretos y tangibles persuadirá por lo menos a algunos de ellos de que deben descubrir cómo se logran tales resultados. Para tal fin, deben aprender a traducir, quizá manejando artículos ya publicados como una piedra de Rosetta o, a menudo con mejores resultados, visitando al innovador, platicando con él, observándolo trabajar y viendo también cómo trabajan sus estudiantes. El resultado tal vez no sea la adopción de la nueva teoría; algunos partidarios de la tradición pueden volver a casa a tratar de ajustar la teoría antigua para producir resultados equivalentes. Pero otros, en el caso de que la teoría nueva vaya a

sobrevivir, encontrarán en algún punto del proceso de aprendizaje del lenguaje que han dejado de traducir y comenzado a hablar como nativos del idioma nuevo. No ha ocurrido ningún proceso de elección, pero a pesar de ello están practicando ya la teoría nueva. Además, los factores que los han empujado a aceptar el riesgo de la conversión por la que han pasado son precisamente los únicos que se han subrayado en este artículo al analizar un proceso algo diferente, el cual, dentro de la tradición filosófica, ha recibido el nombre de elección de teoría.

XIV. COMENTARIOS SOBRE LAS RELACIONES DE LA CIENCIA CON EL ARTE

POR RAZONES que aparecerán más adelante, el problema de la vanguardia, como lo han expuesto los profesores Ackerman y Kubler, ha captado mi interés de maneras inesperadas y, ojalá, fructuosas. Sin embargo, tanto por razones de competencia como por la naturaleza de mi cometido, dirijo estos comentarios principalmente a la reconciliación que el profesor Hafner hace de la ciencia con el arte. Como antiguo físico dedicado ahora principalmente a la historia de esa ciencia, recuerdo muy bien mi propio descubrimiento de los paralelos estrechos y persistentes que hay entre esas dos actividades, a las cuales se me enseñó a contemplar ubicadas en posiciones polares. Un producto tardío de ese descubrimiento es el libro sobre *La estructura de las revoluciones científicas,* al cual se han referido mis colegas y colaboradores. Al analizar las pautas de desarrollo o la naturaleza de la innovación creativa en la ciencia, se tratan asuntos como la función de las escuelas rivales y las tradiciones inconmensurables, el cambio de normas de valor y modos de percepción alterados. Desde hace mucho tiempo, asuntos como éstos han sido básicos en el trabajo del historiador del arte, pero están representados mínimamente en los escritos sobre historia de la ciencia. No sorprende, pues, que el libro en donde aparecen como asuntos dominantes dentro de la ciencia se ocupe también de negar, al menos por fuerte implicación, que el arte puede distinguirse con facilidad de la ciencia sólo aplicando las dicotomías clásicas entre, por ejemplo, el mundo de los valores y el mundo de los hechos, lo subjetivo y lo objetivo, lo intuitivo y lo inductivo. El trabajo de Gombrich, que apunta en muchas de las mismas direcciones, me ha dado grandes alientos, lo mismo que el ensayo de Hafner. En estas circunstancias, debo concordar con su conclusión principal: "Cuanto más cuidadosamente tratemos de distinguir al artista del científico, tanto más difícil se volverá nuestra tarea." Ese enunciado describe con certeza mi propia experiencia.

Pero, a diferencia de Hafner, encuentro perturbadora la experiencia y mal recibida la conclusión. De seguro, sólo cuando adoptamos pre-

* Reimpreso con autorización de *Comparative Studies in Society and History,* 11 (1969): 403-412. *Copyright* 1966, 1970, de la Society for the Comparative Study of Society and History.

cauciones particulares, y sacamos a relucir nuestro instrumental analítico más sutil, es que parece evadírsenos la distinción entre el artista y el científico, o entre sus productos. El observador casual, por bien educado que esté, no tiene tales dificultades salvo cuando, como en los ejemplos de Hafner, se ve ante objetos elegidos cuidadosamente y que han sido sacados de sus contextos normales para colocarlos en otro que, sistemáticamente, provoca confusión. Si el análisis *cuidadoso* hace que el arte y la ciencia parezcan ser tan implausiblemente iguales, esto puede obedecer menos a su similitud intrínseca que al fracaso de los instrumentos que empleamos para realizar un escrutinio minucioso. Como me falta espacio para repetir algunos argumentos desarrollados ampliamente en otra parte, me limitaré a mi convicción de que el problema de la distinción es muy real en el momento presente, que la falla es de nuestros instrumentos, y que se necesita urgentemente una actitud distinta ante el problema. El análisis minucioso debe capacitarnos para mostrar lo obvio: que la ciencia y el arte son actividades muy diferentes, o que por lo menos se han vuelto así durante el último siglo y medio. Acerca de cómo lograr ese objetivo, no tengo ideas claras —el capítulo final del libro que cité ilustra esas dificultades—, pero el artículo de Hafner proporciona algunos de los indicios tan buscados. Extrajo sus paralelos entre la ciencia y el arte principalmente de tres campos: los productos del científico y el artista, las actividades de las cuales resultan estos productos, y la respuesta del público a ellos. Comentaré los tres, aunque no muy ordenadamente, con la esperanza de encontrar puntos de entrada al problema de la distinción, todavía evasivo, y que él y yo compartimos, pero hacia el cual ostentamos muy diferentes actitudes.

Con respecto al paralelismo de los productos, se ha hecho notar ya una dificultad. Los ejemplos de trabajo científico y trabajo artístico, yuxtapuestos en los fascinantes ejemplos de Hafner, se extrajeron de un campo muy restringido del material existente. Casi todas las ilustraciones científicas a las que se refiere son, por ejemplo, fotomicrografías de sustancias orgánicas e inorgánicas. Que puedan darse paralelos tan sorprendentes plantea, desde luego, problemas importantes de influencia, sobre los cuales ni él ni yo estamos preparados para hablar. Pero las actividades no tienen que ser iguales para influirse mutuamente; se defendería mejor la similitud intrínseca partiendo de un conjunto de ejemplos seleccionado menos sistemáticamente.

Una dificultad, más reveladora, surge del contexto artificial en que se exhiben las ilustraciones del paralelismo. Ambas se muestran como

obras de arte sobre el mismo telón de fondo, hecho que oscurece considerablemente la diferencia de sentidos en que pueden llamárseles "productos" de sus actividades respectivas. Por atípicas e imperfectas que sean, las pinturas son los productos finales de la actividad artística. Son la clase de objetos que el pintor tiende a producir, y su reputación está en función del atractivo que éstas posean. Las ilustraciones científicas, por otra parte, son en el mejor de los casos producto secundario de la actividad científica. Comúnmente son hechas por técnicos y, a veces, analizadas por técnicos también antes que por el científico para cuya investigación les dan datos esos productos. Publicado el resultado de la investigación, las fotografías originales pueden ser destruidas. En los extraordinarios paralelos de Hafner, se yuxtapone un producto final del arte a un instrumento de la ciencia. Durante el paso de éste, del laboratorio a la exhibición, se trasponen los fines y los medios.

Una dificultad íntimamente relacionada es la que se presenta cuando se examina el empleo de conceptos matemáticos y normas en el arte y en la ciencia, el cual es aparentemente paralelo. Es indudable, como lo subraya Hafner, que consideraciones de simetría, de sencillez y elegancia en la expresión simbólica, así como de otras formas de la estética matemática, desempeñan funciones importantes en ambas disciplinas. Pero en las artes, la estética es, en sí, el objetivo del trabajo; en las ciencias es, cuando mucho, un instrumento: un criterio de elección entre teorías que son comparables en otros respectos, o una guía para la imaginación que busca la clave para solucionar un acertijo técnico difícil de manejar. Sólo cuando sirve para resolver el acertijo, sólo si la estética del científico coincide con la de la naturaleza, ésta desempeña un papel en el desarrollo de la ciencia. En ésta, la estética rara vez es un fin en sí y nunca un fin primordial.

Vaya un ejemplo para hacer destacar el punto. Se sugiere a veces que los astrónomos de la antigüedad y de la Edad Media estaban limitados por la perfección estética del círculo y que, por consiguiente, necesitaban las nuevas percepciones espaciales del Renacimiento para poder darle a la elipse un papel en la ciencia. Esto no es del todo erróneo. Pero ningún cambio de la estética podría haber hecho que la elipse se volviera importante para la astronomía antes del siglo XVI. Independientemente de su belleza, esa figura no tenía uso en las teorías astronómicas basadas en una Tierra colocada en posición central. Sólo después de que Copérnico colocó el Sol en el centro, pudo la elipse contribuir a revolser un problema astronómico,

y Kepler, quien la usó, figuró entre los primeros conversos al copernicanismo dotados de eficiencia matemática. No hubo demora entre la posibilidad y su realización. Indudablemente, la visión pitagórica que Kepler tuvo de las armonías matemáticas en la naturaleza fue un instrumento para el descubrimiento de que las órbitas elípticas se conforman a la naturaleza. Pero no fue más que instrumento: el instrumento corrrecto en el momento correcto para la solución de un apremiante acertijo técnico, la descripción del movimiento observado de Marte.

Personas como Hafner y yo, a quienes las similitudes de la ciencia y el arte llegaron como una revelación, se han encargado de subrayar que el artista, al igual que el científico, se enfrenta a persistentes problemas técnicos que deben ser resueltos en el desempeño de su oficio. Lo que es más, recalcamos que el científico, como el artista, está guiado por consideraciones estéticas y gobernado por modos de percepción establecidos. No hace falta todavía subrayar ni desarrollar estos paralelos. Apenas comenzamos a descubrir los beneficios de ver como una sola cosa la ciencia y el arte. Pero una insistencia exclusiva en estos paralelos oscurece una diferencia vital. Independientemente de lo que signifique el término "estética", el objetivo del artista es la producción de objetos estéticos; los problemas técnicos son lo que debe resolver para producir tales objetos; para el científico, en cambio, el acertijo técnico resuelto es el objetivo, y la estética es un instrumento para resolverlo. Sea en el dominio de los productos o de las actividades, lo que son fines para el artista son medios para el científico, y viceversa. Además, esa trasposición puede señalar otra de importancia todavía mayor: la que hay entre lo público y lo privado, entre los componentes explícitos y los inarticulados de la identidad vocacional. Los miembros de una comunidad científica comparten, tanto a sus propios ojos como a los del público, un conjunto de soluciones a problemas, pero sus respuestas estéticas y sus estilos de investigación, frecuentemente y por desgracia eliminados de sus trabajos publicados, son en grado considerable privados y variados. No soy competente para generalizar sobre las artes, pero ¿no hay un sentido en que los miembros de una escuela artística comparten un estilo y una estética, por los cuales son identificados, sentido que es anterior a las soluciones a problemas compartidos como determinante de la cohesión de su grupo?

Véase en seguida otro de los paralelos de Hafner: la reacción del público. El alejamiento del gran público es una respuesta contempo-

ránea y característica tanto a la ciencia como al arte. Frecuentemente, la reacción se expresa en términos parecidos. Pero también hay diferencias reveladoras. Los que hoy desdeñan la ciencia de su época no sugieren que su hijo de cinco años lo haga también. Tampoco proclaman que los resultados actuales de la actividad más admirada por los científicos sea el fraude, en lugar de la ciencia real. Para los científicos es difícil imaginar un equivalente claro de la caricatura con la que comienza el ensayo Hafner. Estas diferencias pueden expresarse en términos más generales. El rechazo del público a la ciencia, proveniente en parte de la ansiedad, es de ordinario un rechazo a la actividad en su conjunto: "No me gusta la ciencia." El rechazo del público al arte, por otro lado, es un rechazo de un movimiento a favor de otro: "El arte moderno no es en realidad arte", "Denme pinturas con temas que pueda yo reconocer".

Estas divergencias de respuesta señalan una de las diferencias fundamentales que hay en la relación del público para con el arte y para con la ciencia. En última instancia, ambas actividades se apoyan en un público. Directamente o a través de determinadas instituciones, el público es un consumidor tanto de arte como de los productos tecnológicos de la ciencia. Pero sólo para el arte, y no para la ciencia, hay un público. Creo que incluso el *Scientific American* lo leen ante todo científicos e ingenieros. Los científicos constituyen el público de la ciencia y, para quien se encuentra en una especialidad determinada, el público que le corresponde es menor todavía, y se compone enteramente de los otros profesionales de esa especialidad. Sólo éstos pueden examinar críticamente su trabajo, y sólo sus juicios afectan el desarrollo ulterior de su carrera. Los científicos que tratan de encontrar un público más amplio para el trabajo profesional son condenados por sus colegas. Desde luego, los artistas también se juzgan unos a otros. A menudo, como lo señala Ackerman, un pequeño grupo de profesionales colegas le da al innovador su apoyo, en contra de la condena orquestada por todo el público y la mayoría de los artistas. Pero son muchas las personas que examinan el trabajo de un innovador, y su crítica, las galerías y los museos, ninguno de los cuales tiene paralelo en la vida de la ciencia. Ya sea que el artista valore o rechace tales instituciones, él está afectado vitalmente por su existencia, y así lo atestigua a veces la propia vehemencia de su rechazo. El arte es, intrínsecamente, una actividad dirigida por otros, en formas y en grado que la ciencia no lo es.

Esas divergencias, tanto de público como de identidad de fines y

medios, se han producido hasta este punto como síntomas aislados de una constelación de diferencias, dominantes y llenas de consecuencias, entre la ciencia y el arte. Finalmente, debiera ser posible identificar estas divergencias más profundas y demostrar que los síntomas provienen directamente de ellas. En este momento no estoy preparado para tratar de hacer nada por el estilo. En parte, porque conozco demasiado poco del arte como actividad. Pero puedo sugerir cómo se correlacionan los síntomas examinados hasta aquí y cómo se ligan a otros síntomas de diferencia. Viéndolas como parte de una configuración, podremos echar un vistazo a lo que el tratamiento futuro de nuestro problema deberá articular y hacer explícito.

Para este fin, recordaré una diferencia que hay entre científicos y artistas, y a la cual ya nos referimos Ackerman y yo: sus respuestas, claramente divergentes, al pasado de sus disciplinas respectivas. Si bien los contemporáneos se dirigen a ellos con otra sensibilidad, los productos pasados de la actividad artística siguen siendo partes de la escena artística. El éxito de Picasso no ha relegado las pinturas de Rembrandt a las bodegas de los museos de arte. Las obras maestras del pasado cercano y del distante desempeñan todavía un papel vital en la formación del gusto del público y en la iniciación de muchos artistas. Es curioso que esta función no resulte afectada por el hecho de que ni el artista ni su público aceptarían estas mismas obras maestras como productos legítimos de la actividad contemporánea. En ningún otro aspecto es tan claro el contraste que hay entre arte y ciencia. Los libros de texto científicos se imprimen con los nombres y a veces con retratos de los viejos héroes, pero sólo los historiadores leen las obras científicas antiguas. En la ciencia, todo nuevo avance inicia la eliminación de libros y revistas, repentinamente anacrónicos, de su posición activa en una biblioteca de ciencias, para darlos al desuso de un almacén general. Siempre se ven pocos científicos en los museos, cuya función es en todo caso conmemorar o "reclutar", pero no inculcar el oficio ni mejorar el gusto del público. A diferencia del arte, la ciencia destruye su pasado.

Como lo subraya Ackerman, la tenue comunicación que hay entre artistas y público es mediada a través de los productos de las tradiciones pasadas, y no a través de las innovaciones contemporáneas. Tal es la función de los museos y las instituciones semejantes que, como instituciones, por lo general van retrasadas una generación o más. Ackerman sugiere incluso que la eliminación de ese retraso —la aceptación de la innovación por sí misma, antes de que sea aprobada

por otros artistas— es subversiva de la propia actividad artística. Conforme a esta idea, que encuentro tan plausible como atrayente, el desarrollo del arte ha sido modelado en algunos aspectos esenciales por la existencia de un público cuyos miembros no crean arte y cuyos gustos fueron formados por instituciones resistentes a la innovación. Considero que una de las razones de que no haya tal público para la ciencia —y también de que resulte tan difícil crear un público para ésta— es que las instituciones mediadoras como los museos *no tienen función alguna en la vida profesional del científico.* Los productos mediante los cuales éste mantiene comunicación con el público, aunque a veces sólo una generación atrás, están, para él, muertos e idos.

Hay otro aspecto relativo al problema del público, pero debemos examinar primero otra parte de la configuración de relaciones de síntomas. ¿Por qué el museo, que es esencial para el artista, no tiene ninguna función para el científico? Pienso que la respuesta se relaciona con la diferencia de sus metas, ya analizada; pero me falta uno de los ingredientes vitales del argumento. Lo que necesito saber, pero que hasta la fecha no he logrado descubrir, es lo que el artista se dice a sí mismo cuando contempla una antigua obra maestra para satisfacer sus necesidades estéticas personales, reconociendo simultáneamente que pintar de la misma manera lo haría violar conceptos básicos de su credo artístico. Sólo puedo reconocer y valorar, pero no interiorizar ni entender, una actitud que acepte las obras de, digamos, Rembrandt, como arte vivo, pero que rechace como falsificaciones obras que sólo pueden distinguirse de las de Rembrandt —o de las de su escuela— mediante pruebas científicas. (La transferencia de la palabra "falsificación" a este contexto es interesante por ser algo violenta.) En las ciencias no hay tal problema, y la falsificación, salvo la de índole literaria, es desde luego inimaginable. Si se le pregunta por qué su obra se parece a la de, por ejemplo, Einstein y Schrödinger, pero no a la de Galileo ni a la de Newton, el científico replica que estos últimos, independientemente de que hayan sido genios, estaban equivocados. Mi problema es saber qué es lo que lo que toma el lugar de "correcto" y "equivocado", "acertado" y "erróneo", en una ideología que declara muerta a la tradición pero vivos a sus productos. Resolver esa cuestión me parece la condición previa para entender profundamente la diferencia que hay entre el arte y la ciencia. Y reconocer su existencia permite hacer algunos progresos.

Como la mayoría de los acertijos o problemas, los que los científicos

tratan de resolver se ven como poseedores de una solución o de una sola solución óptima. Encontrarla es el objetivo del científico. Una vez encontrada, todos los intentos previos pierden su pertinencia percibida con respecto a la investigación. Para el científico, se vuelven un exceso de equipaje, una carga innecesaria que debe hacerse a un lado por los intereses de la disciplina. Con la eliminación de esa carga innecesaria, desaparecen también los factores privados e idiosincrásicos, los meramente históricos y estéticos, gracias a los cuales el descubridor llegó a la solución. (Compárese el lugar de honor que se les concede a los primeros bosquejos de un artista, con el destino que tienen los dibujos equivalentes hechos por los científicos. Los primeros llevan al espectador a una apreciación más completa; los segundos, comparados con las versiones finales, iluminan tan sólo la biografía intelecutal de su autor, pero no la solución de su problema.) Por eso es que ni las teorías extemporáneas y ni siquiera las formulaciones originales de la teoría actual son de mucho interés para los profesionales. Dicho de otro modo, por eso es que en la ciencia, como actividad de resolver acertijos, no hay lugar para los museos. Claro está que el artista tiene también acertijos que resolver, ya sea de perspectiva, de colorido, de técnica de pincel ó de composición. La solución de estos problemas no es, sin embargo, el objetivo de su trabajo sino tan sólo uno de los medios de alcanzarlo. Su objetivo, al que ya me confesé incapaz de caracterizar, es el objetivo estético, un producto global al cual no se aplica la ley del medio excluido. Viendo la *Odalisca*, de Matisse, puede recordarse a la de Ingres de otra manera, pero no por eso se deja de mirar. Ambos pueden ser entonces piezas de museo, en forma tal que dos soluciones a un mismo problema científico no pueden serlo.

La posición diferente de las soluciones a acertijos en el espectro de fines-medios da otra solución, quizá también fundamental, al problema de un público para el arte y para la ciencia. Ambas disciplinas les presentan acertijos a sus profesionales y en ambos casos las soluciones a éstos son técnicas y esotéricas. Como tales, son de gran interés para otros profesionales, artistas y científicos, respectivamente, pero casi de ningún interés para ningún público general. Los miembros de este gran grupo ordinariamente no pueden reconocer por sí mismos ni un acertijo ni una solución, ya sea en el arte o en la ciencia. Lo que les interesa son, más bien, los productos globales de esas actividades, obras de arte por un lado y teorías sobre la naturaleza por el otro. Pero, a diferencia de las obras de arte para el artista, las

teorías son para el científico sus instrumentos principales. Este último se halla formado, como ya lo argumenté en otra parte, para darlas por descontadas y emplearlas, no para cambiarlas ni para producirlas. Salvo en casos muy especiales, que de hecho no ocasionan respuesta del público, lo que a éste le interesaría más de la ciencia es, decididamente, de importancia secundaria para el científico.

El valor que se les concede a los productos del pasado; la identidad de fines y de medios; y la existencia de un público; tales son las partes de una configuración de diferencias relacionadas entre el arte y la ciencia. Probablemente esa configuración se destacase con mayor claridad después de un análisis muy profundo, pero sólo tengo una vaga idea de los conceptos necesarios para tal tarea. Lo único que puedo hacer, pues, como prólogo a unos cuantos comentarios finales, es extender esa configuración para abarcar otros síntomas de diferencias, en este caso síntomas extraídos de un examen de las formas en que el arte y la ciencia se desarrollan en el tiempo. En otra parte, como lo señala Ackerman, me ocupé de subrayar la similitud de las líneas evolutivas de ambas disciplinas. En ellas, el historiador puede descubrir periodos durante los cuales la práctica se conforma a una tradición basada en una u otra constelación estable de valores, técnicas y modelos. En ambas, puede aislar también periodos de cambio relativamente rápido en que una tradición y un conjunto de valores y modelos dan lugar a otros. Probablemente pueda decirse lo mismo sobre el desarrollo de toda empresa humana. Con respecto a la pauta de desarrollo general, mi originalidad, si es que la tengo, estriba sólo en la insistencia en que lo que se ha reconocido desde hace mucho tiempo sobre el desarrollo de, digamos, las artes o la filosofía, se aplica también a la ciencia. Así, reconocer esa semejanza fundamental acaso no sea sino el primer paso. Habiéndolo dado, debe uno estar preparado para descubrir muchísimas diferencias reveladoras en la estructura fina del desarrollo. Algunas de ellas son fáciles de encontrar.

Por ejemplo, precisamente porque el triunfo de una tradición artística no vuelve errónea a otra, el arte puede soportar al mismo tiempo, con mayor facilidad que la ciencia, muchas tradiciones o escuelas incompatibles. Por la misma razón, cuando cambian las tradiciones, las controversias relativas a ello se resuelven por lo común con mucha más rapidez en la ciencia que en el arte. En éste, según Ackerman, la controversia sobre la innovación no suele darse mientras no surja una escuela nueva que encienda los ímpetus de los críticos iracundos; incluso entonces, supongo, el fin de la controversia significa a menudo

no más que la aceptación de la tradición nueva, pero no la muerte de la antigua. En las ciencias, por otra parte, la victoria o la derrota no se posponen tanto tiempo, y el bando perdedor es proscrito. Sus últimos partidarios, si los hay, son considerados desertores del campo o bien, aunque la resistencia a la innovación es característica común del arte y de la ciencia, el reconocimiento póstumo se presenta con regularidad sólo en el arte. La mayoría de los científicos cuyas aportaciones tienen que ser reconocidas viven el tiempo suficiente como para recibir la recompensa por sus trabajos. En casos excepcionales, como el de Mendel, la contribución por la cual el científico recibe un reconocimiento tardío es de tal suerte que tuvo que ser redescubierta independientemente por otros. El caso de Mendel es típico de reconocimiento póstumo del logro científico en que sus brillantes escritos no ejercieron efecto sobre el desarrollo ulterior de su campo. El paralelo con el arte no se cumple porque, desde la muerte de Mendel al redescubrimiento de su trabajo, no hubo escuela mendeliana alguna que trabajase aislada por un tiempo pero que por último haya logrado vincularse con la tradición científica dominante.

Estas diferencias surgen de la conducta de grupo de artistas y científicos, pero pueden presentarse también en el desarrollo de las carreras individuales. Los artistas pueden, y así lo hacen a veces, realizar cambios espectaculares de estilo en una o más ocasiones durante sus vidas. O bien, la mayoría de los artistas empieza pintando en el estilo de los maestros, sólo para descubrir más tarde el idioma por el cual serán conocidos finalmente. Cambios similares ocurren, aunque más raramente, en la carrera de un científico, pero éstos no son voluntarios. (Constituyen la excepción, reveladora de por sí, los que abandonan un campo científico para pasar a otro, por ejemplo, de la física a la biología.) En lugar de ello, al científico los cambios se le vienen encima, bien por agudas dificultades internas a la tradición en la cual ha trabajado desde un principio, o bien por el éxito particular dentro de su propio campo de alguna innovación introducida por algún otro. Y aun entonces los cambios se aceptan con renuencia, pues cambiar de estilo dentro de un campo científico es confesar que son erróneos los primeros productos de uno y también los del maestro.

Me parece que un agudo comentario de Ackerman señala el camino hacia el centro de esta constelación de diferencias relativas al desarrollo. Sugiere que en la evolución del arte no hay nada semejante a las crisis internas que una tradición científica encuentra cuando los problemas que tiene que resolver dejan de responder como debieran.

Estoy de acuerdo con eso, y sólo agregaría que es inevitable que haya una diferencia entre una actividad que tiende a resolver acertijos y otra que no procede así. (Nótese que, con respecto a muchas de las diferencias en discución, el desarrollo de las matemáticas se asemeja más al del arte que al de las otras ciencias, y que, correspondientemente, las crisis en las matemáticas son raras. Se reconocen pocos problemas matemáticos antes del momento en que sean solucionados. En todo caso, el fracaso en resolver tales problemas, a menos que se hallen en los propios fundamentos de las matemáticas, nunca arroja duda sobre las presuposiciones del campo pero sí sobre la capacidad de sus profesionales. Por otro lado, en las ciencias todo problema cuya solución no se halle por más que se la busque termina por afectar los fundamentos.) Debe ser verdad la observación de Ackerman y, viéndola como parte de una configuración, resulta ser de grandes consecuencias.

La función de las crisis en las ciencias consiste en señalar la necesidad de innovar, en dirigir la atención de los científicos hacia el área de la cual puede surgir la innovación fecunda, y en dar indicios sobre la naturaleza de esa innovación. Precisamente porque la disciplina posee este sistema de señales integrado, la innovación no tiene por qué ser un valor primordial para los científicos, y por lo mismo se condena la innovación por la innovación. La ciencia tiene su *élite* y puede tener su retaguardia, sus productores de baratijas. Pero no hay vanguardia científica, y si existiese, sería amenazadora para la ciencia. En el desarrollo científico, la innovación debe conservarse como una reacción, a menudo renuente, a desafíos concretos planteados por problemas concretos. Ackerman sugiere que, también respecto de las artes, la respuesta contemporánea a la vanguardia plantea una amenaza, y puede tener razón. Pero eso no debe enmascarar la función histórica que la existencia de una vanguardia pone de manifiesto. Tanto individualmente como en grupos, los artistas buscan nuevas cosas que expresar y también nuevas maneras de expresarlas. Hacen de la innovación un valor primordial y han comenzado a hacerlo así desde antes que la vanguardia le diese a ese valor una expresión institucional. Por lo menos desde el Renacimiento, este componente innovador de la ideología del artista —no es el único componente ni muy compatible con los demás— ha hecho por el desarrollo del arte algo de lo que las crisis internas han hecho por fomentar las revoluciones en la ciencia. Decir con orgullo, como lo hacen tanto artistas como científi-

cos, que la ciencia es acumulativa y el arte no, es confundir la pauta de desarrollo de ambos campos. Sin embargo, esa generalización repetida tan a menudo expresa lo que puede ser la más profunda de las diferencias que hemos venido examinando: el valor, radicalmente diferente, que los científicos y los artistas le conceden a la innovación por la innovación.

Concluiré, por privilegio personal o profesional, cambiando abruptamente de tema y comentando, de manera breve, las ideas de Kubler acerca del empleo que Ackerman hace de mi libro sobre las revoluciones científicas. Seguramente la falla es mía, pues los puntos a los cuales se refiere Kubler figuran entre los más oscuros del libro, pero a pesar de todo me parece que vale la pena señalar que funde tanto mis puntos de vista como su posible relación con los problemas en discusión. En primer lugar, nunca traté de limitar las nociones de paradigma y revolución "a las teorías principales". Por el contrario, considero que la importancia especial de estos conceptos reside en que permiten una comprensión más completa del carácter irregularmente no acumulativo de acontecimientos como el descubrimiento del oxígeno, de los rayos X o del planeta Urano. Lo más importante es que los paradigmas no deben equipararse con las teorías. Lo fundamental es que son ejemplos concretos y aceptados de realizaciones científicas, soluciones a problemas reales que los científicos estudian cuidadosamente y conforme a las cuales modelan su propio trabajo. Para que la noción de paradigma le sea útil al historiador del arte, tendrán que servir de paradigmas las pinturas y no los estilos. Sería importante esa manera de delinear el paralelismo, pues descubro que los problemas que me llevaron de hablar de teorías a hablar de paradigmas son casi idénticos a los que hacen que Kubler desdeñe la noción de estilo. Tanto "estilo" como "teoría" son términos que se emplean para descubrir un conjunto de obras que se reconocen como semejantes. (Están "en el mismo estilo" o son "aplicaciones de la misma teoría".) En ambos casos resulta difícil —si no es que imposible— especificar la naturaleza de los elementos compartidos que distinguen de otro a un estilo o a una teoría dados. Mi respuesta a tales dificultades ha consistido en sugerir que los científicos pueden aprender de paradigmas o de modelos aceptados sin ningún proceso como la abstracción de los elementos que constituirían una teoría. ¿Puede decirse algo semejante de la forma en que los artistas aprenden, examinando detalladamente determinadas obras de arte?

Kubler hace otra generalización, de extrema importancia para mí. "En efecto —dice— los comentarios de Kuhn son etológicos, y se dirigen más a la conducta de una comunidad, que a los resultados que ésta se propone." Aquí no hay malentendido. Como descripción, el comentario de Kubler recoge inteligentemente muchos de mis intereses capitales. Sin embargo, me perturba encontrarme con que se haga uso de una descripción así, y sin siquiera discutirla, para declarar que esos intereses no vienen al caso en los problemas que se están considerando en este momento. Lo que estoy tratando de decir, tanto en el libro al que se refiere Kubler como en los comentarios precedentes, es que muchos de los problemas que más hostigan a los historiadores y a los filósofos de la ciencia y del arte pierden su aire de paradoja y se vuelven temas de investigación cuando se les considera problemas sociológicos y etológicos. Que la ciencia y el arte son productos de la conducta humana es una perogrullada, pero, no por serlo, deja de tener consecuencias importantes. Los problemas de "estilo" y "teoría", por ejemplo, pueden contar entre los muchos precios que debemos pagar por no mirar lo obvio.

ÍNDICE

Se terminó de imprimir este libro en el
mes de marzo de 1993 en los talleres de
COSMOPRINT, calle Naranjos, 8.
Pol. Ind. de La Hoya.
San Sebastián de los Reyes (Madrid).
Se tiraron 2.000 ejemplares.